

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПЛАНИРОВКЕ ТЕРРИТОРИЙ

ТОМ 01
№ 2
2022

- СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ
- ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ
- ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
- СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА
- ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
- УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА





Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Т. 1, № 2, 2022

Электронный научно-практический журнал

Учредитель и издатель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

В журнале публикуются научные статьи по следующим направлениям:

– Строительные конструкции, здания и сооружения;
– Основания и фундаменты, подземные сооружения;
– Строительные материалы и изделия;
– Технология и организация строительства;
– Строительная механика;
– Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов;
– Управление жизненным циклом объектов строительства.

Учредитель и издатель журнала является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС77-83923 от 16 сентября 2022 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Над номером работали:
С.Г. Студенникова, А.О. Северин, С.А. Еременко

Адрес учредителя, издателя и редакции:
344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1, тел. +7 (863) 2-738-372
https://sovtends.elpub.ru/
E-mail: sovtendstr@gmail.com



СОДЕРЖАНИЕ




УДК 624.012.04-52
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-4-12

Научная статья



Новый метод усиления железобетонных сжатых колонн, основанный на использовании бетона и композита

С. В. Георгиев ✉, **Д. Р. Маилян** , **А. И. Соловьева**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ sergey.georgiev@bk.ru

Аннотация

Введение. Долгие годы работы по усилению сжатых железобетонных конструкций выполнялись методами, основанными на использовании железобетонных обойм и металлических внешних каркасов. Это достаточно трудоемкие и дорогие процессы. Внедрение композитных материалов в строительную индустрию позволило ускорить и упростить работы по усилению, однако в области сжатых элементов увеличить несущую способность конструкций прямоугольных или квадратных сечений оказалось очень материалоемким. Это связано прежде всего с ограничениями работы продольно расположенных углепластиковых материалов на сжатие и большим понижающим коэффициентом для поперечного композитного усиления. Однако разработка новых способов усиления, один из которых рассмотрен в данной научной работе, позволят увеличить эффективность композитных материалов, расположенных в поперечном направлении в 5–10 раз в зависимости от разных варьируемых факторов. Целью данной научной статьи является разработка и обоснование нового метода усиления железобетонных колонн при помощи смешанного бетонокомпозитного усиления.

Материалы и методы. За основу данного научного исследования были взяты результаты теоретических расчетов. Рассмотрен и рассчитан нормативный вариант усиления сжатого железобетонного элемента с выводом объема композитных материалов. На основе результатов нормативного расчета были внесены предложения, учитывающие влияние нового способа усиления, подробная методика расчета которого, также представлена в настоящей статье. Результаты теоретических расчетов по прочности и сопоставление необходимого объема используемых материалов усиления являются ключевыми при выполнении анализа и построения выводов.

Результаты исследования. Результатом полученных исследований является разработанный, рассчитанный и обоснованный новый способ усиления, позволяющий сократить объем используемых композитных материалов при усилении сжатых железобетонных колонн.

Обсуждение и заключение. В работе были представлены и рассмотрены три примера расчета усиления железобетонной колонны композитными материалами. Один из которых, является нормативным, два других – предложенные авторами. Разработанный способ усиления подразумевает использование бетонных скруглений с дальнейшим оборачиванием композитными материалами. Данные скругления можно учитывать в расчете, а можно и принять их как конструктивные элементы. В любом случае эффект от предложенного способа усиления становится выше в 5,3 и 10,5 раз. Также в заключении даются дальнейшее идеи научных исследований, продолжающие разработку и исследование способа усиления центрально сжатых железобетонных колонн композитными материалами.

Ключевые слова: бетон, железобетон, сталь, углепластик, композитная арматура, усиление, деформации, напряжение.

Для цитирования. Новый метод усиления железобетонных сжатых колонн, основанный на использовании бетона и композитных материалов. / С.В. Георгиев, Д.Р. Маилян, А.И. Соловьева // Современные тенденции в строительстве,

градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 2. — С. 4–12. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-4-16

Original article

A New Method of Strengthening the Compressed Reinforced Concrete Columns Based on the Use of Concrete and Composite Materials

Sergey V. Georgiev ✉, **Dmitriy R. Mailyan**, **Anastasia I. Solovyeva**

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ sergey.georgiev@bk.ru

Abstract

Introduction. For many years strengthening of the compressed reinforced concrete structures was fulfilled by methods based on using reinforced concrete cages and outer metal frames. These are rather time-consuming and expensive processes. The implementation of composite materials in the construction industry made it possible to quicken and simplify the works on strengthening, however with regard to compressed elements it turned to be very resource-demanding to increase the bearing capacity of rectangular or square section structures. This is primarily due to the limitation in compression strain of the longitudinally located carbon fiber materials and a large decreasing coefficient for transverse composite strengthening. However, the development of new methods of strengthening, including the one considered in this work, will increase the efficiency of composite materials located in the transverse direction by 5–10 times, depending on different variable factors. This article aims to develop and justify a new method of strengthening the reinforced concrete columns by using mixed concrete-composite reinforcement.

Materials and methods. This research relies on the results of theoretical calculations. The standard variant of strengthening a compressed reinforced concrete element has been considered and calculated as well as composite materials volume has been specified. Based on the standard calculation results the proposals, which take into account the effect of a new strengthening method, have been made in this article, the detailed methodology of calculation thereof has also been presented. The results of theoretical strength calculations along with comparison of the required volume of reinforcement materials are the key issues in the analysis and drawing conclusions.

Results. The research has resulted in development, calculation and justification of the new method of strengthening, which allows reducing the volume of composite materials required for strengthening the compressed reinforced concrete columns.

Discussion and conclusion. Three variants of calculating the strengthening of a reinforced concrete column with composite materials have been presented and reviewed in this work. One of which is a standard one, the other two are proposed by the authors. The developed method of strengthening implies rounding of concrete followed by jacketing with composite materials. These roundings can be considered in calculation or can be referred to as structural elements. In any case, the strengthening effect received from the proposed method becomes 5.3 and 10.5 times higher. Besides, further research ideas for continuing the development and study of the method of strengthening the centrally compressed reinforced concrete columns with composite materials are given in conclusion.

Keywords: concrete, reinforced concrete, steel, carbon fiber, composite reinforcement, strengthening, deformations, strain.

For citation. S.V. Georgiev, D.R. Mailyan, A.I. Solovyeva. A new method of strengthening the compressed reinforced concrete columns based on the use of concrete and composite materials. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 2, pp. 4–12. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-4-16

Введение. После продолжительного времени застоя строительства в девяностых годах, современная Россия активно развивается в промышленном и гражданском секторе. С ростом объема в строительства увеличивается потребность в ремонтно-восстановительных работах или усилении несущих конструкций зданий и сооружений [1–3]. Причинами такого следствия зачастую являются ошибки и нарушения технологии производства работ на строительных площадках [4–6]. Уменьшение прочности в строительных конструкциях приводит к остановке всего строительства. Учитывая простаивающую технику и сбой в рабочем процессе, с неминуемым увеличением сроков строительства, приводит к серьезным негативным последствиям. Для решения возникших проблем инженерами-строителями используются проверенные способы усиления. Данные методы основаны на использовании аналогичных материалов, то есть бетона и металла. Производство данных работ отличается высокой трудоемкостью и сложностью выполнения усиления [7,8]. В случае устройства железобетонного усиления необходимо выполнить технологические перерывы для набора прочности бетона, что также является причиной остановки строительных процессов. Металлическое усиление является достаточно дорого стоящим и имеет пределы по увеличению несущей способности [9].

С недавних пор широко используемое композитное усиление дает возможность решать поставленные задачи достаточно быстро и эффективно [10–12]. Это доказано в ряде экспериментальных исследований для конструкции по нормальному и наклонному сечению [13–15], а также гибких внецентренно сжатых железобетонных колонн [16–18]. Что касается центрально сжатых железобетонных конструкций (колонн зданий или опор сооружений), то высокий коэффициент усиления сопровождается большим расходом материалов [19]. Однако при этом, композитное усиление также остается конкурентоспособным по сравнению с металлическим и железобетонным внешним усилением. Основное преимущество композитного усиления сжатых элементов заключается в увеличение прочностных характеристик существующих конструкций [20, 21]. В отличие от железобетонной обоймы на нижележащие несущие конструкции нагрузка не увеличивается, а также не уменьшается полезная площадь помещений, в которых производится усиление. Последнее касается общественных и жилых зданий, где квадратный метр помещения достаточно дорого стоит.

В данной научной работе авторами преследуется цель развития композитного усиления центрально сжатых железобетонных колонн. При этом основные достижения заключаются в уменьшении расхода композитных материалов, без уменьшения эффективности всего усиления. В проведенных ранее исследованиях по определению эффективности центрально сжатых железобетонных конструкций было выявлено существенное занижение прочности системы усиления, которая зависит от конфигурации поперечного сечения [22]. Для квадратных и прямоугольных колонн понижающий коэффициент варьируется от 0,15 до 0,25, то есть эффект усиления уменьшается на 85–75 %. В связи с этим было принято решение разработать конструктивный вариант усиления центрально сжатых элементов, при котором данный понижающий коэффициент будет равен единице. Результаты разработки приведены в патентах авторов [23, 24].

Материалы и методы. В качестве материалов данного исследования выступают результаты теоретического расчета «классической» усиленной железобетонной колонны сечением 40×40 см. Под понятием «классической» понимается нормативный метод усиления композитной обоймы центрально-сжатой железобетонной колонны. Для анализа был принят коэффициент усиления равный 1,5. Ниже представлен расчет количества композитных

слоев обоймы для усиления колонны. Подробный расчет необходим для дальнейшего анализа и построения нового метода расчета разработанного способа усиления. Нормативными документами, согласно которым выполнялся расчет по прочности центрально сжатой железобетонной колонны, являлись действующие своды правил (при расчете железобетонной колонны по прочности — СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», а при составлении алгоритма расчета усиления железобетонной колонны — СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами»). До написания настоящей статьи способ скругления железобетонной колонны с последующим оборачиванием композитными материалами авторами был запатентован [23, 24]. В патентах представлены две разные технологии осуществления композитного усиления с предварительным скруглением сечения конструкции. В качестве рассматриваемых конструкции принималась колонна квадратного сечения, однако рекомендуемый способ усиления также подходит под увеличение несущей способности колонн прямоугольного сечения, при этом расчетным сечением будет не круг, а овал.

В данном расчете не приведены разделы по определению прочности колонны без усиления. Однако данный расчет проводился и прочность колонны составляет *N*=330,5 тс. Сила, на которую будет выполняться расчет усиления составляет *Nu*=495,8 тс, что в полтора раза больше прочности колонны. Согласно технологии усиления углы колонны скругляются радиусом 2 см. Исходные данные по расчету усиления железобетонной колонны следующие: продольная арматура — 4Ø28А500; класс бетона — В25; материал усиления — углеткань Армошел КБ 500, с толщиной одного слоя — t = 0,27мм, прочностью на разрыв — R_f =3000 МПА.

Расчет усиления железобетонной колонны поперечной композитной обоймой:

– Определение требуемого значения прочности бетона $R_{b3}^{\text{треб}}$, работающего в сложном напряженном состоянии.

$$R_{b3}^{\text{треб}} = \frac{\frac{N}{\varphi} - R_{sc} \times A_{stot}}{A_b} = \frac{(495800/1 - 4000 \times 24{,}63)}{1592} = 249 \text{ кгс/см}^2 \quad (1)$$

где $A_b = b \times b - 2 \times r \times r = 40 \times 40 - 2 \times 2 \times 2 = 1592\text{см}^2$.

– Определение приращения прочности бетона R_{bf} при установке сплошной обоймы.

$$R_{bf} = R_{b3}^{\text{треб}} - R_b = 249 - 145 = 104 \text{ кгс/см}^2. \quad (2)$$

– Определение коэффициента композитного поперечного армирования

$$\mu_f = \frac{R_{bf}}{k_{ef} \times k_b \times R_f}.$$

– Определение расчетного сопротивления композитного материала на растяжение при коэффициенте $\gamma_{f2} = 1.0$

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \times \gamma_{f2} \times R_{fn}}{\gamma_f} = \frac{0{,}95 \times 1{,}0 \times 3790}{1{,}2} = 30000 \text{ кгс/см}^2 \quad (3)$$

– Определение понижающего коэффициента, зависящего от конфигурации усиливаемой конструкции

$$k_{ef} = 1 - \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{2b \times h} = 1 - \frac{(40-2x2)^2 + (40-2 \times 2)^2}{2 \times 40 \times 40} = 0{,}190 \quad (4)$$

– Для сплошной обоймы коэффициент, учитывающий наличие разрывов в обойме $k_e = 1.0$.

$$\mu_f = \frac{R_{bf}}{\kappa_{ef} \times \kappa_e \times R_f} = \frac{104}{0{,}19 \times 1{,}0 \times 30000} = 0{,}0182. \quad (5)$$

– Определение площади сечения композитной арматуры

$$A_f = \mu_f \times A_b = 0{,}0182 \times 1592 = 29\text{см}^2.$$

– Определение периметра рабочего сечения, подлежащего усилению

$$U_f = 2(b + h - 4r) = 2(40 + 40 - 4 \times 2) = 144\text{см}.$$

– Определение числа слоев в составе холста обоймы Армошел КБ 500 с t=0,27мм

$$n_f = \frac{A_f}{U_f t_f} = \frac{29}{144 \times 0{,}027} = 7{,}45 \text{слоя.}$$

Принимаем обойму в 8 слоев.

Анализируя полученные результаты, пришли к выводу, что при обеспечении прочности усиленной колонны необходимо 8 слоев углеткани. Учитывая высокую стоимость материалов, такое большое количество слоев углеткани при полном оборачивании колонны делает этот метод очень дорогим и не конкурентноспособным.

Анализ расчетных формул показывает, что композитное усиление увеличивает прочность колонны путем увеличения прочности бетона на сжатие. Понижающий коэффициент k_{ef} учитывает геометрические размеры поперечного сечения. При усилении круглой колонны он равен единице, в нашем случае равен k_{ef} =0,19, следовательно занижает эффективность усиления на 81 %.

Предлагается усиливаемую колонну до обертывания композитными материалами скруглить бетонном, согласно схеме (Рис. 1). Способ выполнения скруглений описан в патентах [23, 24].

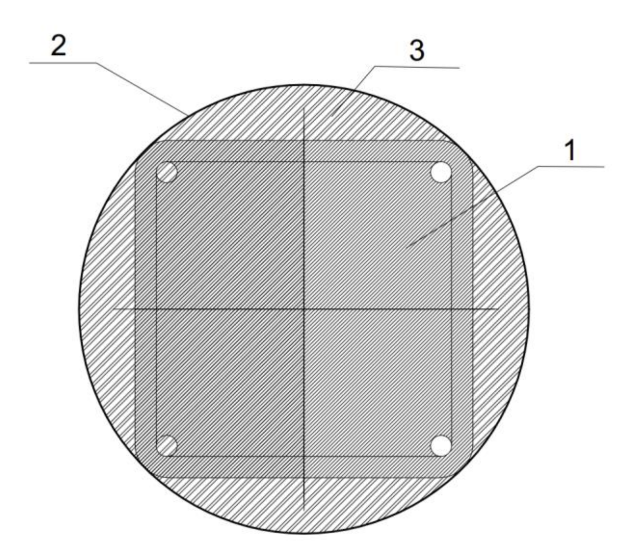


Рис. 1. Поперечное сечение усиливаемой колонны, скругленной бетоном и обернутой композитными материалами:
1. Усиливаемая колонна; 2. Композитное усиление на основе углеткани; 3. Бетонные скругления

Основная идея данного метода заключается в равномерном сдерживании развития поперечных деформаций в усиливаемом элементе, поэтому прочность бетона усиления должна быть не ниже прочности бетона колонны. Совместную работу элементов скругления обеспечит композитная обойма.

При отсутствие экспериментальной базы, которая, в дальнейшем, будет нами реализована, анализ эффективности способа усиления будет выполняться дважды. Первый будет учитывать элементы бетонного скругления как части сечения колонны. Второй — не включать элементы скругления, а принять их как конструктивные элементы.

Ниже приведены примеры расчета усиливаемого образца по предложенному методу усиления. Согласно полученным площадям поперечного сечения композитных материалов были подобраны схемы армирования, а именно, количество слоев и толщина углеткани. Из известных видов углеткани фирмы «Гидрозо» были приняты для исследования три вида материалов: Армошел КБ200 с толщиной t = 0,11 мм, Армошел КБ500 с толщиной t = 0,27 мм и Армошел КБ900 с толщиной t = 0,48 мм. Все композитные материалы имели одинаковые характеристики и отличались только толщиной. Необходимые для расчетов характеристики материалов приведены в примерах.

Результаты исследования.

1 пример расчета. Усиление железобетонной скругленной колонны поперечной композитной обоймой с учетом работы скруглений на сжатие.

Определяем требуемое значение прочности бетона, работающего в сложном напряженном состоянии

$$R_{b3}^{\text{треб}} = \frac{\frac{N}{\varphi} - R_{sc} \times A_{stot}}{A_b} = \frac{(495800/1 - 4000 \times 24{,}63)}{2171} = 183 \text{ кгс/см}^2, \text{ где}$$

$$A_b = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{3{,}14 \times 52{,}6^2}{4} = 2171 \text{ см}^2, \qquad d=\sqrt{b^2+b^2}-2r=\sqrt{40^2+40^2}-2x2=52.6 \text{ см}$$

– приращение прочности бетона при установке сплошной обоймы:

$$R_{bf} = R_{b3}^{\text{треб}} - R_{bn} = 183 - 145 = 38 \text{ кгс/см}^2.$$

– коэффициент композитного поперечного армирования:

$$\mu_f = \frac{R_{bf}}{k_{ef} \times k_b \times R_f}.$$

т.к. сечение будет скруглено, коэффициент $k_{ef} = 1$.

Для сплошной обоймы коэффициент, учитывающий наличие разрывов в обойме $k_e = 1{,}0$.

– расчетное сопротивление композитного материала на растяжениеR_f определяется по формуле (5),

$$R_f = 30000 \text{ кгс/см}^2$$

$$-\mu_f = \frac{R_{bf}}{\kappa_{ef} \times \kappa_e \times R_f} = \frac{38}{1 \times 1{,}0 \times 30000} = 0{,}0013$$

– площадь сечения композитной арматуры:

$$A_f = \mu_f \times A_b = 0{,}0013 \times 2171 = 2.75 \text{см}^2$$

– периметр рабочего сечения, подлежащего усилению:

$$U_f = 2 \times \pi \times r = 2 \times 3{,}14 \times \frac{52{,}6}{2} = 165{,}1$$

– число слоев в составе холста обоймы из Армошел КБ 500:

$$n_f = \frac{A_f}{U_f \times t_f} = \frac{2{,}75}{165{,}1 \times 0{,}027} = 0{,}6 \text{слоя}.$$

– число слоев в составе холста обоймы из Армошел КБ 200:

$$n_f = \frac{A_f}{U_f t_f} = \frac{2{,}75}{165{,}1 \times 0{,}011} = 1{,}5 \text{слоя}.$$

Принимаем обойму в 2 слоя Армошел КБ 200. Фактическая площадь сечения обоймы $A_f = U_f \times t_f \times n_f = 165{,}1 \times 0{,}011 \times 2 = 3{,}63 \text{см}^2 > 2{,}75 \text{см}^2$

2 пример расчета. Усиление железобетонной скругленной колонны поперечной композитной обоймой без учета работы скруглений.

Требуемое значение прочности бетона, работающего в сложном напряженном состоянии по формуле (1), $R_{b3}^{\text{треб}} = 249 \text{ кгс/см } 2$.

– приращение прочности бетона при установке сплошной обоймы по формуле (2), $R_{bf} = 104 \text{ кгс/см}^2$.

– расчетное сопротивление композитного материала на растяжение по формуле (3) $R_f = 30000 \text{ кгс/см}^2$

$$\mu_f = \frac{R_{bf}}{\kappa_{ef} \times \kappa_e \times R_f} = \frac{104}{1 \times 1{,}0 \times 30000} = 0{,}0035.$$

– площадь сечения композитной арматуры:

$$A_f = \mu_f \times A_b = 0{,}0035 \times 1592 = 5{,}5 \text{см}^2.$$

– периметр рабочего сечения, подлежащего усилению:

$$U_f = 2 \times (b + h - 4 \times r) = 2 \times (40 + 40 - 4 \times 2) = 144\text{см}.$$

– число слоев в составе холста обоймы:

$$n_f = \frac{A_f}{U_f t_f} = \frac{5{,}5}{144 \times 0{,}027} = 1{,}42 \text{ слоя}.$$

Принимаем обойму в 2 слоя. Фактическая площадь сечения обоймы:

$$A_f = U_f \times t_f \times n_f = 144 \times 0{,}027 \times 2 = 7{,}8\text{см}^2 > 5{,}5\text{см}^2.$$

Обсуждения и заключения. Согласно результатам проведенных исследований можно отметить:

– предложенный способ усиления действительно дает существенный эффект по улучшению композитного усиления центрально сжатых железобетонных колон квадратного и прямоугольного сечения;

– требуемая площадь усиления поперечного сечения композитных материалов, согласно результатам составленных методик расчета по сравнению с результатами нормативного расчета и способа усиления уменьшилась с 29 до 2,75 и 5,5 см^2 для первого и второго расчета соответственно, что меньше в 10,5 и 5,3 раз;

– учитывая полученные результаты по уменьшению площади композитного материала усиления в дальнейшем требуется произвести экспериментальное подтверждение;

– в работе было выполнено сравнение вариантов усиления композитных обойм, рассмотренных в нормах и предложенных авторами данной статьи, при коэффициенте усиления колонны равном 1,5. Для подтверждения эффективности нового метода усиления необходимо провести численный эксперимент расчета колонны при разных коэффициентах усиления. Помимо этого, необходимо, согласно прайсам фирм-реализаторов строительных материалов, рассчитать в денежном эквиваленте эффективность композитных материалов по сравнению с нормативным, а также сравнить с традиционными.

Библиографический список

1. Иванов, Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: Усиление, восстановление, ремонт / Иванов Ю.В. // А.С.В. — 2012 — 312 с.

2. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы / Тамразян А.Г. // Промышленное и гражданское строительство. — 2014 — № 7 — С. 51–54.

3. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон – взгляд в будущее / Тамразян А.Г.// Вестник МГСУ. — 2014. — № 4. — С. 181-189.

4. Grace, N.F Development and application of innovative triaxially braided ductile frp fabric for strengthening concrete beams / Grace N.F., Ragheb W.F., Abdel-Sayed G. // Composite structures. — 2004 — V. 64. — № 3–4. — P. 521-530. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2003.09.051.

5. Корсаков, Н.В. Анализ повреждений и видов усилений сжатых железобетонных конструкций / Корсаков Н.В. // В кн.: Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета. тезисы докладов. Волгоград. — 2021. — С. 468–469.

6. Гроздов, В.Т. Усиление строительных конструкций при реставрации зданий и сооружений / Гроздов В.Т. // СПб. — 2005. — 114 с.

7. Данилов, С.В. Усиление железобетонных колонн стальными обоймами / Данилов С.В., Фомичева Л.М // В кн.: Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. материалы международной научно-технической конференции. ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2017. — С. 240–241.

8. Курбанов, З.А. Усиление сборной железобетонной колоны методом железобетонной обоймым / Курбанов З.А., Грушевский К.Е. // В сборнике: Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования. сборник статей Международной научно-практической конференции: в 3 частях. — 2018. — С. 169–171.

9. Георгиев, С.В. Сравнение методов усиления железобетонных стоек с точки зрения экономической эффективности / Георгиев С.В., Соловьева А.И., Меретуков З.А. // Инженерный вестник Дона. — 2022. — № 2 URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22__2_georgiev_solovyeva_meretukov.pdf_e8ebcad5b0.pdf

10. Маяцкая, И.А. Применение углепластиковых ламелей при усилении строительных конструкций / Маяцкая И.А., Польской П.П., Георгиев С.В., Федченко А.Е. // Строительство и техногенная безопасность. — 2018. — № 12 (64). — С. 33–38.

11. Horiguchi, T. Effect of test methods and quality of concrete on bond strength of CFRP sheet external reinforcement of concrete beams using fiber / Horiguchi T., Saeki N., Ritchie P.A. // Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures Conference. — Japan. — 2001. — V. l. — P. 265–270.

12. Польской, П.П. Влияние различных вариантов внешнего композитного армирования на жесткость гибких сжатых элементов / Польской П.П., Георгиев С.В. // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 4. — URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4826

13. Hutchinson, A. R. Flxural strengthening of concrete beams with externally bonded FRP reinforcement / Hutchinson A. R., and Rahimi, H // Proc., 2nd Int. conf. on Advanced compos.mat.in bridges and struct. — (ACMBS). — pp. 519-526.

14. Hussain, M. Flexural behavior of precracked reinforced concrete beams strengthened externally by FRP plates / Hussain M., Sharif A., Basunbul I.A., Baluch M.H. and AL Sulaimani G.J // ACI Struct.J. — 92(1). — pp. 14–22.

15. Khalifa, A. Shear performance of RC members strengthened with externally bonded FRP wrap / Khalifa A., Belarbi A., Nanni A. // Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand – Jan 30-Feb 04. — 2000. — pp. 305-315.

16. Mander, J.B. Theoretical stress-strain model for confined concrete / Mander J.B., Priestly Park R. // ASCE Journal of Structural Engineering. — Vol. 114. — No. 8. — 1988. — pp. 1804-1826.

17. Польской, П.П. О программе исследования сжатых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами на основе углепластика / Польской П.П., Георгиев С.В. // Научное обозрение. — 2014. — № 10–3. — С. 662–666.

18. Георгиев, С.В. К определению прочности бетона, обжатого композитными материалами, расположенными в поперечном направлении / Георгиев С.В., Меретуков З.А., Соловьева А.И. // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 10 (82). — С. 240–250.

19. Георгиев, С.В. Сравнение методик усиления внешним армированием композитных материалов / Георгиев С.В., Меретуков З.А., Соловьева А. И. // Инженерный вестник Дона. 2021. — № 10. — URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7221

20. Matthys, S. Structural behavior and design of concrete members strengthened with externally bonded FRP reinforcement / Matthys S. // Doctoral thesis, Gent University. — 2000.

21. Мухамедиев, Т.А. Расчет внецентренно сжатых железобетонных конструкций, усиленных обоймами из композиционных материалов / Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В. // Бетон и железобетон. — 2014. — № 2. — С. 18-20.

22. Мухамедиев, Т.А. Проектирование усиления железобетонных конструкций композиционными материалами / Мухамедиев Т.А. // Бетон и железобетон. — № 3. — 2013. — С. 6–8.

23. Георгиев, С.В. Способ усиления железобетонной колонны прямоугольного или квадратного сечения композитными материалами / Георгиев С.В., Маилян Д.Р., Соловьева А.И. // Патент на изобретение 2775852 C1 – 11.07.2022 – Заявка № 2021133930 от 22.11.2021.

24. Георгиев, С.В. Способ усиления железобетонной колонны прямоугольного или квадратного сечения / Георгиев С.В., Маилян Д.Р., Соловьева А.И. // Патент на изобретение 2773490 C1. — 06.06.2022. — Заявка № 2021133929 от 22.11.2021.

Поступила в редакцию 16.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Маилян Дмитрий Рафаэлович — профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, dmailyan868@mail.ru

Георгиев Сергей Валерьевич — доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, sergey.georgiev@bk.ru

Соловьева Анастасия Ивановна — инженер и ассистент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), магистр, 98rosignol@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Георгиев С.В. — анализ результатов исследований, проведение расчетов, формирование выводов. Д. Р. Маилян – формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство, корректировка выводов. А. И. Соловьева — выполнение расчетов, подготовка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.





УДК 711.4
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-13-22

Научная статья



Строительство объектов здравоохранения с использованием энергоэффективных технологий

С. Г. Шеина , А. А. Федоровская ✉, А. П. Калиткин

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ bina-87@mail.ru

Аннотация

Введение. Согласно «Стратегии низкоуглеродного развития России до 2050 года» особое место отводится городам, оценке качества и комфортности жизнедеятельности населения с учетом применения энергосберегающих мероприятий и прочих технологических решений, а также проектированию и строительству, обеспечивающим нулевой уровень выбросов углекислого газа. Качество жизни населения характеризуется обеспеченностью социальной инфраструктурой и прилегающими пространствами, в том числе образовательными и медицинскими учреждениями, а также объектами спорта, досуга и культуры. Планирование оптимального развития сети учреждений здравоохранения с учетом энергоэффективных мероприятий требует интегрированной системы оценки городской территории, что является основной целью рассматриваемого исследования.

Материалы и методы. Комплексная задача требует многоаспектного подхода к систематизации информации о состоянии городской территории по следующим направлениям: енегоэффективность, зеленые технологии, сеть объектов здравоохранения и ее состояние, застройка и характер городской территории, экологическая стабильность и пр. Оптимизация сети здравоохранения с учетом применения энергосберегающих технологий в контексте низкоуглеродного развития возможна благодаря использованию геоинформационных систем.

Результаты исследования. В результате проведенного исследования с применением системного подхода к поэтапному планированию оптимизации сети медицинских учреждений и геоинформационных систем как инструмента территориально-пространственного анализа выявлены основные районы, требующие увеличения и развития социальной инфраструктуры, а именно лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), особенности городской территории — инфраструктурные показатели (транспорт) и показатели комфортности проживания (оценка городского озеленения). Определены базовые возможности и способы повышения энергоэффективности зданий ЛПУ.

Обсуждение и заключения. Перспективное развитие сети лечебно-профилактических учреждений на территории города осуществляется методом поэтапного планирования, основанном на применении дифференцированного нормативно-целевого подхода, многокритериальной оценке, позволяющим организовать достаточную медицинскую помощь в условиях конкретной системы расселения. Внедрение технологий информационного моделирования, зеленых технологий и энергосбережения обеспечит повышение уровня комфортности пребывания, снижение энергопотребления и нагрузки на коммунальную инфраструктуру города.

Ключевые слова: социальная инфраструктура, энергоэффективность, энергоэффективные технологии, энергосбережение, градостроительство, территориальное планирование, прогнозирование, градостроительный анализ, планировка, зеленое строительство, поликлиника, объекты здравоохранения

Для цитирования. Шеина, С. Г. Строительство объектов здравоохранения с использованием энергоэффективных технологий / С. Г. Шеина, А. А. Федоровская, А. П. Калиткин // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 2. — С. 13–22. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-13-22

Original article

Construction of Healthcare Facilities Using Energy Efficient Technologies

Svetlana G. Sheina , Albina A. Fedorovskaya ✉, Andrei P. Kalitkin

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ bina-87@mail.ru

Abstract

Introduction. According to the Low-Carbon Development Strategy of the Russian Federation 2050, the special attention is allocated to cities, to evaluation of the quality and comfort of population life-activity, taking into account the implementation of energy-saving measures and other technological solutions, as well as to design and construction ensuring zero carbon dioxide emissions. The quality of people's life is characterized by the availability of social infrastructure and adjacent spaces including: educational and healthcare institutions, as well as sports, recreation and cultural facilities. Planning the optimal development of healthcare institutions network with respect to the energy efficient measures, requires the integral system of urban territory evaluation, which is the main aim of the present study.

Materials and methods. A complex task requires a multifaceted approach to systematizing the information about the state of urban territory in the following spheres: energy efficiency, green technologies, healthcare facilities network and its condition, development and character of the urban territory, environmental stability etc. In the context of low-carbon development the optimization of the healthcare network provided the use of energy-saving technologies becomes possible thanks to the use of the geographic information system.

Results. As a result of the study held with application of the systemic approach to the phased planning of the healthcare institutions network optimization and using the geographic information system as a tool for territorial and spatial analysis, there were identified the main districts that require expansion and development of social infrastructure, namely healthcare institutions, and the urban territory features — infrastructure indicators (transport) and comfort of living indicators (urban greening evaluation). The basic opportunities and ways to improve energy efficiency of healthcare buildings were determined.

Discussion and Conclusions. The long-term development of the healthcare institutions network in the city is fulfilled by means of the phased planning method implicating the differentiated normative-target approach, multi-criteria evaluation, which allows to organise sufficient medical care under conditions of the specific residing system. The implementation of the information modeling technologies, green and energy saving technologies will ensure improvement of the comfort of staying level, reduce energy consumption and ease the load on the municipal infrastructure of the city.

Keywords: social infrastructure, energy efficiency, energy-efficient technologies, energy saving, urban planning, territorial planning, forecasting, urban analysis, planning, green building, polyclinic, healthcare facilities.

For citation. S. G. Sheina, A. A. Fedorovskaya, A. P. Kalitkin. Construction of Healthcare Facilities Using Energy Efficient Technologies. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 22, no. 2, pp. 13–22. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-13-22

Введение. В период массовой урбанизации и роста городов проектирование медицинских учреждений, их размещение и расположение планировалось в основном на типовых объемно-планировочных и архитектурных решениях. Однако в настоящее время вектор градостроительной политики, планировочной организации территории смещен в направлении уплотнения городской застройки, где использование типовых проектов объектов здравоохранения достаточно затруднено.

Развитие сети объектов здравоохранения должно быть обоснованным для обеспечения и повышения уровня качества жизни населения, удовлетворения его потребностей в разных специализированных видах медицинской помощи, а также повышения уровня эффективности деятельности лечебно-профилактических учреждений (далее — ЛПУ).

В контексте градостроительной науки и развития строительной отрасли в целом на развитие сети ЛПУ влияют следующие факторы:

– состояние зданий и материально-технической базы сети объектов здравоохранения;

– социально-экономические факторы: градообразующие производства и их территориальное размещение, инженерная и транспортная инфраструктура, особенности функционального зонирования и расселения.

Согласно целям национального проекта «Здравоохранение», градостроительная наука должна обеспечивать населению оптимальную доступность медицинских организаций и учреждений. Достижение заявленной цели может быть осуществлено за счет применения геоинформационных систем (среда ArcGIS, QGIS, Аксиома и пр.) и проведения на их базе пространственного анализа территории города [1]. Геоинформационные системы позволят интегрировать в единое пространство следующие параметры и состояние городской среды:

– жилая застройка (ее взаиморасположение, техническое состояние жилищного фонда, разнообразие застройки, кадастровое деление земель и пр.);

– развитие улично-дорожной сети и транспортная инфраструктура (транспортно-пересадочные узлы, доступность транспорта в виде остановочных комплексов, организация пешеходных переходов, подъездных дорог и пр.);

– озелененные пространства и территории (доля и уровень озеленения, состояние объектов озеленения);

– общественно-деловая инфраструктура (административный центр, бизнес-центры, состояние и наличие объектов культурного наследия, а также неприкосновенный фонд и исторический центр города);

– социальная инфраструктура (обеспеченность территории объектами образования, культуры и досуга, спорта и здравоохранения, мониторинг их технического состояния, возможность реконструкции и пр.).

Планировочные особенности территории, внутренняя структура объектов здравоохранения, набор и мощность их различных отделений должны быть приспособлены к потребностям конкретного района. Объекты здравоохранения нового поколения должны отличаться гибким подходом к размещению медицинского оборудования внутри здания, обеспечением комфортного микроклимата помещений, свободной планировкой, учитывающей конкретную градостроительную ситуацию, новыми объемно-планировочными и конструктивными решениями, применением энергоэффективных технологий и материалов [2].

Возведение современных зданий с использованием энергоэффективных технологий в современном мире очень частая практика, ведь это не только экологично, но и экономически выгодно в период самого долгого этапа жизни здания — эксплуатации. Поскольку энергетическая эффективность сооружений также является необходимым требованием к новым и уже введенным в эксплуатацию зданиям, зачастую проводится модернизация зданий либо их реконструкция, связанная с повышением энергетического класса сооружения. Что касается зданий муниципального назначения, а именно поликлиник, большая часть из них была построена до 1975 г., что свидетельствует о их недостаточной оснащенности энергоэффективными технологиями. Провести модернизацию зданий такого типа практически невозможно в связи с размещенными в них различными медицинскими аппаратами и приборами, которые не терпят вибраций или временного демонтажа без серьезных последствий для точности получения данных, поэтому единственным выбором является проведение полной реконструкции сооружения либо комплекса зданий, относящихся к муниципальному объекту.

Развитие сети объектов здравоохранения является важнейшим процессом, обеспечивающим территориальное планирование города. Формирование стабильной социальной инфраструктуры путем развития сети медицинских учреждений обеспечивает устойчивость социально-экономического развития региональной системы. Эффективные и своевременные управленческие решения в рамках градостроительной политики

оказывают влияние на вызовы, возникающие в области здравоохранения, становятся основой формирования человеческого капитала и, соответственно, трудовых ресурсов, которые представляют собой неотъемлемый компонент функционирования и развития территориальной системы [3–6].

Строительство поликлиник в наше время должно отвечать множеству стандартов, указанных в законодательной документации. Такие стандарты также затрагивают и энергетическую эффективность возводимых городских клиник. Вопросы о том, какие именно технологии и каким образом они будут внедрены в конструкцию, будут рассмотрены далее.

При проектировании здания большую значимость имеет его географическое расположение. В условиях внедрения энергоэффективных технологий при формировании объемно-планировочного решения производится определение оптимальной формы здания, обеспечивающей его минимальные теплопотери [7]. Также не стоит забывать о системах вентиляции и горячего водоснабжения. При проектировании стоит установить современные пластинчатые теплообменники; ультразвуковые счетчики в ЦТП; систему отопления с автоматическим регулированием, учитывающим изменения погодных условий; улучшенные насосные системы с частотно-регулируемыми приводами; для повышения надежности системы вентилирования в холодное время года — установки с подмешивающими насосами и автоматикой.

Помимо введения инженерных новшеств, энергетическую эффективность возможно повысить также за счет инженерных решений, таких как применение улучшенных стеклопакетов и автоматической системы освещения во всех корпусах поликлиники. Такие, казалось бы, незначительные внедрения в конструктив здания значительно снизят потребление энергии на отопление и освещение.

В современном мире лидирующие позиции занимает развитие медицины, т. к. быстрая урбанизация и пагубно влияющая на экологию промышленность оказывают негативное влияние на здоровье населения. Именно поэтому стали популярными энергетически эффективные технологии в сфере строительства, т. к. они способствуют уменьшению потребления энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение и электричество, что уменьшает выбросы в атмосферу вредных веществ [8; 13].

С целью раскрытия возможностей применения энергоэффективных технологий и их особенностей в данной статье представлены примеры зарубежного опыта их внедрения, а также продемонстрированы результаты многокомпонентной оценки городской территории в среде ArcGIS.

Материалы и методы. Зеленое строительство можно считать эффективным инструментом для обеспечения устойчивого развития территории, на которой расположен строительный объект. Зеленое или экологичное строительство — это строительство и эксплуатация здания с целью снижения потребления энергии и материальных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла здания (от выбора участка до проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта и сноса).

Одной из самых современных клиник в мире является Upper River Valley Hospital в Канаде (рис. 1). При строительстве этого медицинского центра были использованы зеленые способы получения электроэнергии, такие как солнечные батареи, также весь комплекс оборудован датчиками движения, что позволяет рационально использовать энергосберегающие лампы в темное время суток.



Рис. 1. Главный фасад Upper River Valley Hospital [9]

Страна восходящего солнца также не отстает от современных тенденций в строительстве госпиталей будущего. В медицинском комплексе Keio University Hospital (рис. 2), находящемся в Токио, насчитывается 35 корпусов, работающих 24 часа в сутки, каждый из которых оборудован специальными насосными системами для обеспечения зданий горячей водой, а также современной системой вентиляции, которая помимо рационального потребления энергии также обеззараживает воздух [10].



Рис. 2. Фасад Keio University Hospital [9]

В современном мире цифровые технологии вышли на главный план при создании проектов в строительстве. При проектировании энергоэффективных поликлиник данная технология будет на первом месте по важности, ведь она только начала развиваться, но уже имеет достаточно широкий функционал, позволяющий инженерам вести расчеты. С развитием BIM-программ будут увеличиваться возможности, позволяющие оценить вклад технических и инженерных решений при оценке энергетического класса сооружения [10–12].

В основу оптимизации и планирования строительства новых ЛПУ на городской территории ложится оригинальная методика, представленная на рис. 3. Методика выбора территории для размещения объектов здравоохранения состоит из семи этапов и не включает в себя пространственный анализ территории по параметрам комфортности проживания, а только градостроительные базовые нормы для нового строительства. Одним из самых значительных этапов является первый этап — анализ генерального плана города с учетом районов нового строительства. Согласно анализу районов нового строительства и перспективного развития, можно рассчитать существующую и дальнейшую нагрузку на социальную инфраструктуру и потребность в ней.

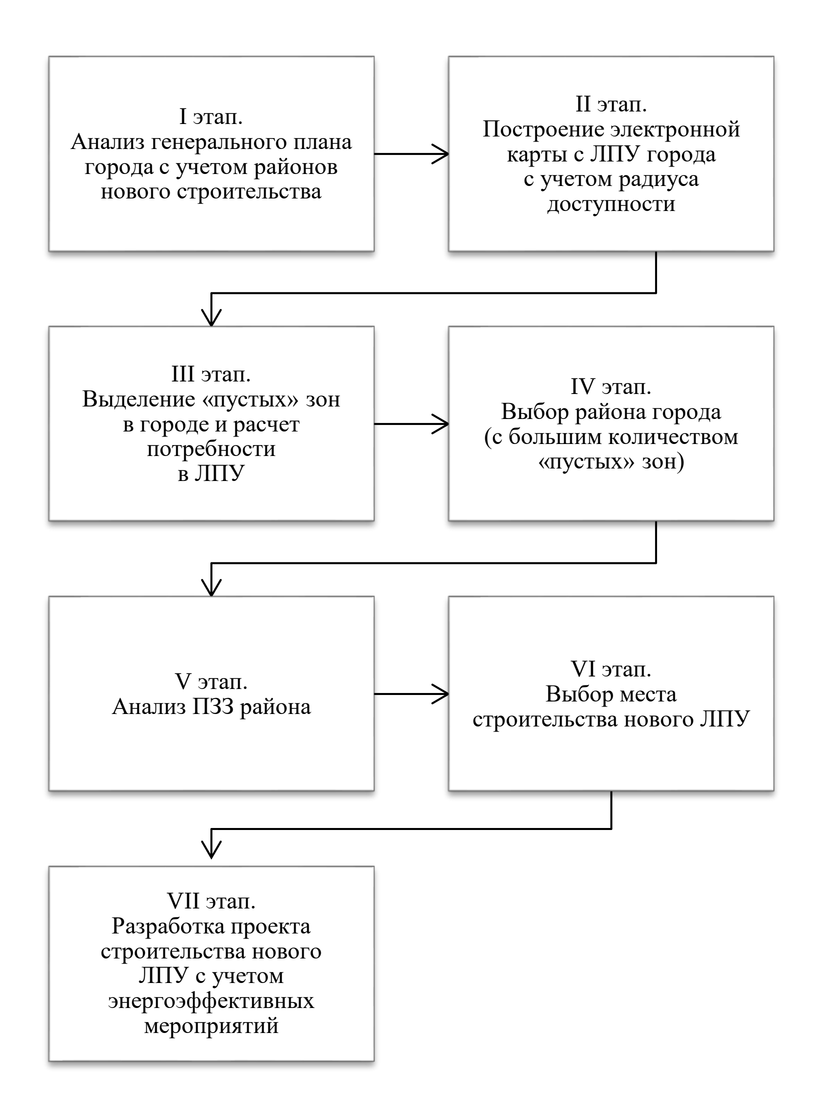


Рис. 3. Методика выбора территории для размещения объектов здравоохранения (рисунок авторов)

Стоит отметить, что методика является универсальной и может быть применима для любого города, а в результатах исследования представлен только второй этап методики, как базовый элемент в перспективном планировании городской территории.

Расчет потребности в ЛПУ должен производиться с учетом данных о мощности (пропускной способности) существующих объектов, а также норм и нормативов, которые одобрены на федеральном уровне (см. распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.07.1996 № 1063-р), а также с учетом социально-экономической, природно-климатической и экологической ситуации в городе [13–14].

Совершенствование сети ЛПУ должно производиться с учетом перспективной системы расселения, на основе общности экономической базы, территориально-пространственного развития и транспортной системы города. Именно поэтому вышеперечисленные аспекты учитываются в рамках разработанного инструментария.

Результаты исследования. Нельзя переоценить применение геоинформационных систем для оценки потенциала и потребностей в размещении объектов здравоохранения исходя из радиусов доступности рассматриваемых зданий. Применение геоинформационных систем позволяет интегрировать различные типы информации о состоянии качества городской среды для формирования предложений по ее улучшению, определения перспективных планов застройки. Согласно СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011 ««Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания» радиус обслуживания объектов здравоохранения должен быть не более 800 м [15]. Исходя из данного условия для Ростова-на-Дону в среде ArcGIS построена карта доступности объектов здравоохранения (рис. 4). Точками на карте обозначены ЛПУ, построены радиусы доступности — 800 м, все участки, находящиеся в пределах этого радиуса, выделены сиреневым цветом как обеспеченная территория застройки города. На рис. 5 представлена карта Ростова-на-Дону с размещением транспортно-пересадочных узлов и железнодорожными путями, что позволяет определить развитие транспортного обеспечения территориальной системы. Также представлен пример оценки озеленённой территории города (рис. 6):

– озеленение более 15 % от общей территории застройки выделено зеленым цветом;

– озеленение менее 15 % от общей территории застройки выделено желтым цветом.

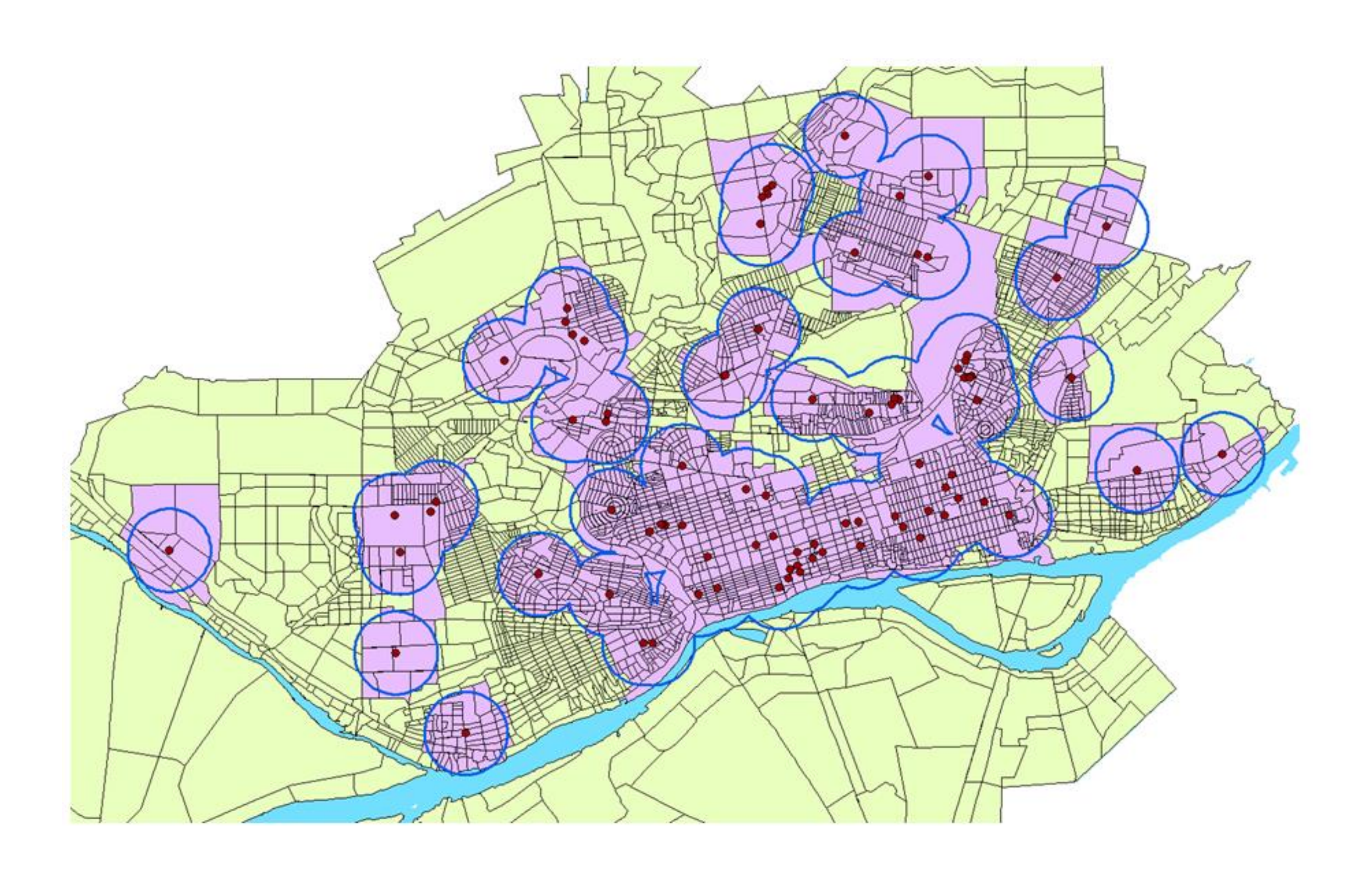


Рис. 4. Доступность объектов здравоохранения в Ростове-на-Дону (рисунок авторов)

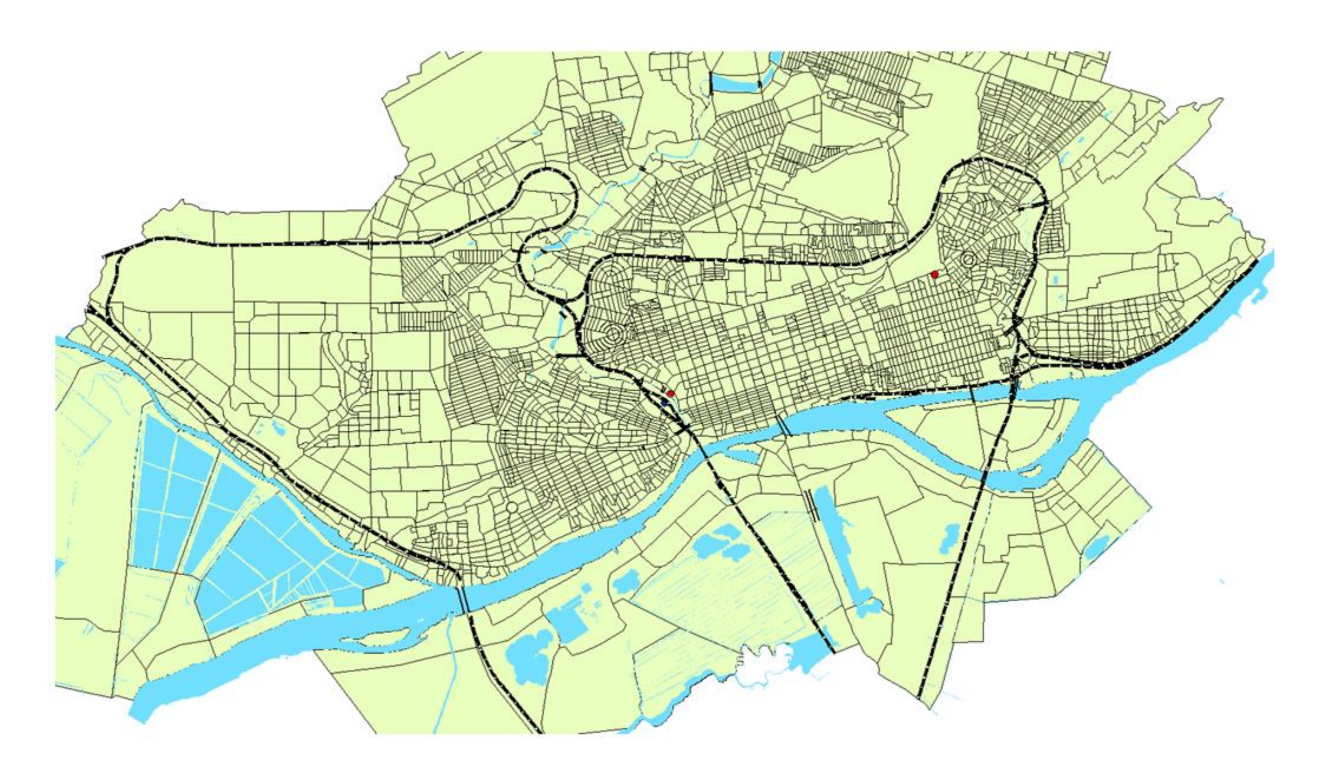


Рис. 5. Наличие транспортно-пересадочных узлов в Ростове-на-Дону (рисунок авторов)

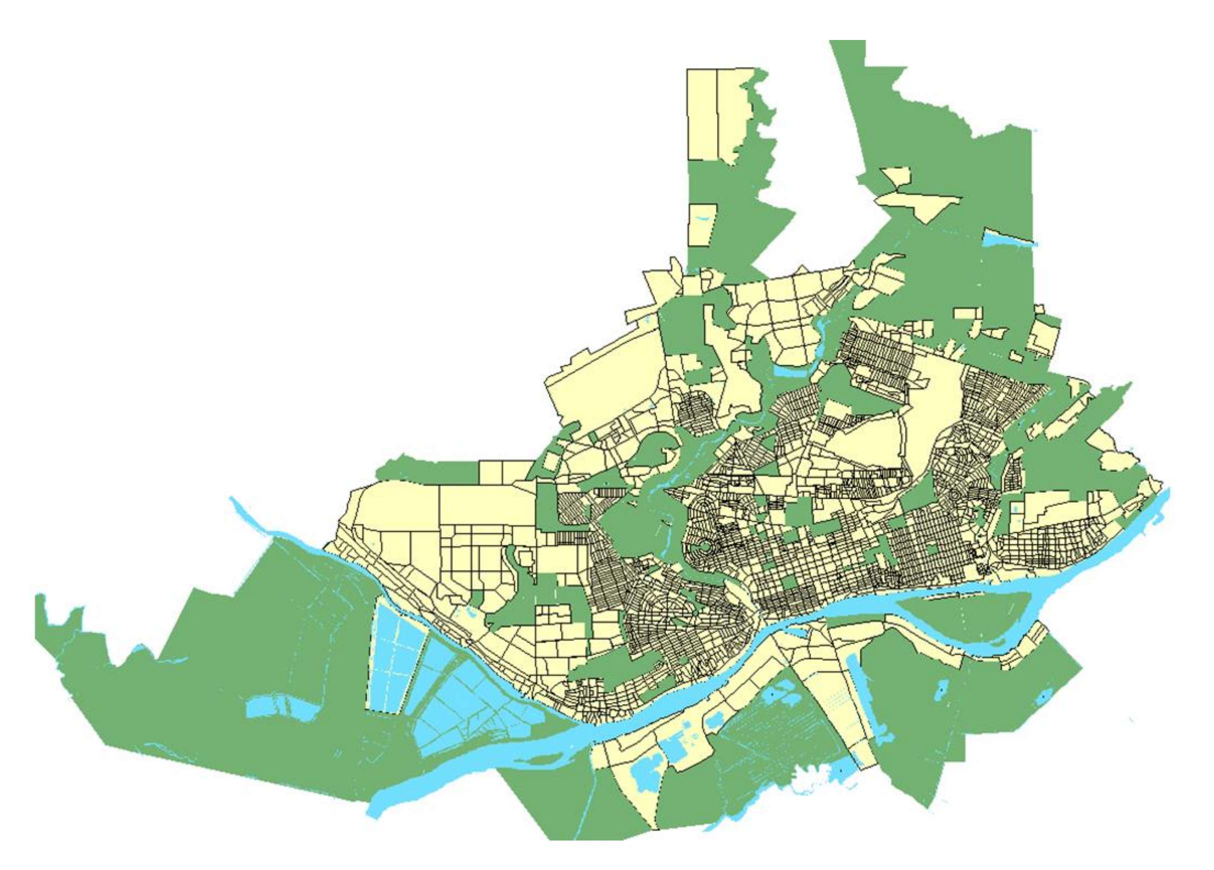


Рис. 6. Уровень озеленения территории в Ростове-на-Дону (рисунок авторов)

Анализ территориально-пространственного размещения объектов здравоохранения показал, что размещение учреждений здравоохранения на территории города характеризуется неравномерностью — 70 % медицинских учреждений расположено в центральной части города, где сосредоточена большая часть общегородских

и региональных учреждений. Наиболее обеспечены учреждениями здравоохранения жители Кировского, Ленинского и Октябрьского районов. Следует отметить, что районные поликлиники также тяготеют к центральной части города, что видно при анализе их территориального расположения.

Обсуждение и заключения. Представленные цифровые инструменты позволят не только оценить теплоемкость ограждающих конструкций, но также смогут предоставить данные по изменению потребляемой энергии, поступающей извне к зданию на отопление, вентиляцию и электричество. В скором будущем BIM внесет неоценимый вклад при внедрении в строительство энергоэффективных технологий. Размещение и конфигурация объектов здравоохранения в существующую плотную городскую застройку является важным аспектом процессов градостроительного планирования и проектирования, целями которых является создание высококачественной и экологичной среды жизнедеятельности, а также рациональное и эффективное использование территории [16, 17].

Проведя анализ мировых практик и законодательных решений Российской Федерации в сфере современных поликлиник, стало понятно, что помимо развивающихся лечебных методик и медицинского оборудования также улучшаются и способы строительства медицинских комплексов, которые меньше загрязняют окружающую среду, что также способствует улучшению общего уровня здоровья населения.

Библиографический список

1. Гермак, О. В. Геоинформационные системы при территориальном планировании городов / О. В. Гермак, О. А. Гугуева, Н. А. Калачева // Организационно-экономические проблемы регионального развития в современных условиях: материалы научн.-практ. Конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (Симферополь, 22 апреля 2021 г.). — Симферополь: Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, 2021. — С. 70–72.

2. Гайдук, А. Р. Новая типология медицинских учреждений [Электронный ресурс] / А. Р. Гайдук // Молодой ученый. — 2011. — Т. 2, № 3 (26). — С. 212–216. — URL: https://moluch.ru/archive/26/2846/ (дата обращения: 14.11.2022).

3. Сидоренков, А. В. Современные исследования конфликтов в области малых групп в отечественной психологии / А. В. Сидоренков, О.Ю. Шипитько, Ю.В. Обухова // Психологические исследования. — 2017. — Т. 10, № 55. — С. 9.

4. Калачикова, О. Н. Доступность и качество медицинской помощи в контексте модернизации здравоохранения / О. Н. Калачикова, К. Н. Калашников // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. — 2014. — № 2 (32). — С. 130–142.

5. Письменная, Е. Е. Доступность и качество медицинских услуг в российской системе здравоохранения / Е. Е. Письменная, Е. М. Моженкова // Гуманитарные науки. Вестн. Финанс. ун-та. — 2016. — Т. 6, № 2 (22). — С. 36–39.

6. Басова, Е. А. Доступность здравоохранения как фактор устойчивого социально-экономического развития территорий / Е. А. Басова // Проблемы развития территории. — 2021. — Т. 25, № 1. — С. 68–87.

7. Семенова, Э. Е. Исследования зависимости энергоэффективности здания от геометрической формы / Э. Е. Семенова, А. А. Тютерев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: высокие технологии. Экология. — 2011. — № 1. — С. 102–104.

8. 30 самых современных больниц мира учреждений [Электронный ресурс]. — URL: https://medbe.ru/clinics/o-lechenii-za-rubezhom/30-samykh-sovremennykh-bolnits-mira-chast-1/ (дата обращения: 14.11.2022).

9. Больница Аппер-Ривер-Вэлли учреждений [Электронный ресурс]. — URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Upper_River_Valley_Hospital (дата обращения: 14.11.2022).

10. Лучшие больницы Японии учреждений [Электронный ресурс]. — URL: https://medbe.ru/clinics/o-lechenii-za-rubezhom/luchshie-bolnitsy-yaponii/ (дата обращения: 14.11.2022).

11. Энергосберегающие системы в больницах учреждений [Электронный ресурс]. — URL: https://www.c-o-k.ru/articles/energosberegayuschie-sistemy-v-bol-nicah (дата обращения: 14.11.2022).

12. Энергоэффективность в здравоохранении учреждений [Электронный ресурс]. — URL: https://elport.ru/articles/energoeffektivnost_v_zdravoohranenii (дата обращения: 14.11.2022).

13. О методике определения нормативной потребности субъектов Российской Федерации в объектах социальной инфраструктуры: распоряжение Правительства РФ от 19.10.1999 № 1683-р (ред. от 23.11.2009) [Электронный ресурс]. — URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=184743 (дата обращения: 14.11.2022).

14. Градостроительный кодекс Российской Федерации. — М.: Эксмо, 2017. — 54 с.

15. СТО НОСТРОЙ 2.35.4—2011. «Зеленое» строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания [Электронный ресурс]. — URL: https://nostroy.ru/department/metodolog/otdel_tehniceskogo_regulir/sto/СТО%20НОСТРОЙ%202.35.4-2011.pdf (дата обращения: 14.11.2022).

16. Щербина, Е. В. Градостроительные аспекты проектирования устойчивой городской среды / Е. В. Щербина, Н. В. Данилина // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2014. — № 11. — С. 183–186.

17. Реновация как разновидность модернизации городских территорий учреждений [Электронный ресурс] / И. Ю. Зильберова, В. Д. Маилян, К. С. Петров, М. А. Беланова // Инженерный вестник Дона. — 2019. — № 9. — URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6185 (дата обращения: 15.11.2022).

Поступила в редакцию 23.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Шеина Светлана Георгиевна — профессор кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

Федоровская Альбина Ахмедовна — доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, bina-87@mail.ru

Калиткин Андрей Петрович — магистрант 2 года обучения кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), a-kalitkin.17@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

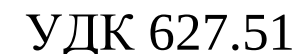
С. Г. Шеина — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, научное руководство. А. А. Федоровская — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов. А. П. Калиткин — проведение анализа и расчетов, подготовка текста, формирование выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.





УДК 627.51
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-23-32

Научная статья



Оценка опасности затопления застраиваемых территорий на основе применения современных геоинформационных систем

М. В. Прокопова ✉

ООО «ГеоИндустрия», Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Текучева, 162
✉ sun210872@yandex.ru

Аннотация

Введение. Строительство и эксплуатация зданий и сооружений на берегах рек и других водоемов с быстро изменяющимся уровнем воды связано с опасностью затопления или подтопления территории, которые могут приводить к значительному материальному ущербу и даже угрозе жизни и здоровью людей. Для таких участков важно составлять достоверный прогноз зон возможного затопления и подтопления и разрабатывать меры возможной инженерной защиты территорий, планы эвакуации или спасения населения в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. В статье на примере двух потенциально подтопляемых участков в Туапсинском районе Краснодарского края, выделенных под застройку, выполнена количественная оценка опасности их подтопления на основе применения геоинформационной системы QGIS.

Материалы и методы. В исследовании применялись: анализ существующих методов оценки подтопления и затопления территорий; материалы многолетних наблюдений за уровнем воды в реках, за наиболее крупными затоплениями на изучаемых участках территории; анализ методов инженерной защиты территорий от подтопления и затопления; моделирование гидрогеологических и гидрологических процессов с использованием современной геоинформационной системы QGIS; разработка рекомендаций по инженерной защите застраиваемой территории и проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений.

Результаты исследования. В результате моделирования в геоинформационной системе QGIS процессов подтопления и затопления двух участков перспективной застройки в Туапсинском районе Краснодарского края были установлены границы зон потенциального подтопления и уровни подъема воды с различной вероятностью. Приведены графические результаты моделирования в системе QGIS и построены графики уровней подтопления по заданным разрезам и по контуру участка.

Обсуждение и заключения. Установлены границы наиболее опасных участков застройки, для которых обоснованы меры инженерной защиты. Разработаны рекомендации по проектированию и строительству зданий и сооружений на участках с учетом прогнозируемых опасностей их подтопления и затопления.

Ключевые слова: затопление, подтопление, геоинформационные системы, моделирование гидрологических процессов, инженерная защита территорий, основания, фундаменты, геологические опасности.

Для цитирования. Прокопова, М. В. Оценка опасности затопления застраиваемых территорий на основе применения современных геоинформационных систем / М. В. Прокопова // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 2. — С. 23–32.
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-23-32

Original article

Flooding Hazard Assessment of Built-Up Lands Using Modern Geographic Information Systems

Marina V. Prokopova 

OOO «GeoIndustriya», 162, Tekucheva str., Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ sun210872@yandex.ru

Abstract

Introduction. The construction and operation of buildings and structures on the banks of rivers and other water reservoirs with rapidly changing water level are associated with the hazard of territories flooding and underflooding, which can lead to major material damage and even endanger the life and health of people. It's very important to make a reliable forecast of floodable and underfloodable zones and to develop possible engineering protection measures for such territories, as well as evacuation or rescue plans for cases of emergency. In this article by the example of 2 allocated for construction potentially flooded plots in the Tuapse district of the Krasnodar region, the quantitative flooding hazard assessment is carried out based on the use of the geographic information system QGIS.

Materials and methods. In the study there were used: the analysis of existing methods for assessing underflooding and flooding of territories; the long-term observation materials of the water level in rivers and of the largest floods on the studied plots; the analysis of methods of engineering protection of territories from underflooding and flooding; the hydrogeological and hydrological processes modeling using the modern geo information system QGIS; the development of recommendations for engineering protection of the built-up lands and for design of buildings' and structures' bases and foundations.

Results. As a result of modeling of the underflooding and flooding processes of 2 plots of the prospective built-up lands of the Tuapse district of Krasnodar region in the geo information system QGIS, the boundaries of potential flooding zones and varying probability water rise levels have been identified. Graphical results of modeling in the QGIS system have been presented and graphs of flooding and underflooding levels have been plotted in given sections and along plot's outline.

Discussion and Conclusions. The boundaries of the most hazardous built-up lands have been identified and the engineering protection measures have been reasoned for them. Recommendations have been developed on design and construction of buildings and structures on the plots taking into account the forecasted hazards of underflooding and flooding.

Keywords: flooding, underflooding, geo information systems, hydrological processes modeling, engineering protection of territories, bases, foundations, geological hazards.

For citation. M. V. Prokopova. Flooding Hazard Assessment of Built-Up Lands Using Modern Geographic Information Systems. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 2, pp. 23–32. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-23-32

Введение. Строительство и эксплуатация зданий и сооружений на территориях, опасных по подтоплению и затоплению, всегда сопряжено с рядом технических, технологических, организационных и экономических проблем, решение которых возможно только на основе комплексного подхода и оценки многочисленных природных и техногенных факторов. Подтопление или затопление территорий может приводить к изменению прочностных и деформационных характеристик грунтового основания [1, 2], требует специальных подходов к проектированию оснований и фундаментов [3–5], разработке дополнительных мер и сооружений инженерной

защиты территории [6], включая работы по берегоукреплению [8] и повышению устойчивости склонов в зоне вероятного подтопления [9].

Важную роль в оценке потенциально подтопляемых территорий играет экономический фактор. Опасность подтопления зачастую снижает градостроительную привлекательность территории [10], но рост крупных городов и прибрежных курортных районов заставляет осваивать под строительство новые, ранее не использовавшиеся, участки, попадающие в опасную зону [11, 12]. Это, как правило, требует дополнительной технико-экономической оценки мер инженерной защиты [13] и рационального благоустройства территории.

Немаловажной остается проблема подтопления для вновь застраиваемых территорий, когда сам процесс застройки (особенно высотными и многоэтажными жилыми комплексами) приводит к нарушению естественных гидрогеологических процессов, возникновению барражного эффекта и быстрому подъему уровня грунтовых вод [14]. Иногда процессы подтопления и затопления урбанизированных территорий могут приводить к возникновению чрезвычайных ситуаций [15].

Разработке мер инженерной защиты территорий от подтопления и затопления должен предшествовать комплекс серьезных инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, поиск и анализ причин подтопления участков [16, 17], районирование территорий по фактору опасности подтопления с применением картографических методов [18], разработка численных гидрогеологических моделей и моделирование с их помощью различных сценариев подтопления или затопления с учетом максимального количества природных и техногенных факторов [19, 20]. Для гидрогеологического моделирования в последнее время разработан и успешно используется целый ряд специализированных программных комплексов, позволяющих определять изменение уровней грунтовых вод, находить границы подтопляемых или затопляемых участков, прогнозировать возникновение опасных и чрезвычайных ситуаций.

В настоящей статье актуальную проблему затопления и подтопления территорий поселений рассмотрим на примере горных районов Краснодарского края. На протяжении последних десятилетий только на территории Туапсинского муниципального образования произошли случаи затопления и подтопления паводковыми и грунтовыми водами, которые нанесли вред населению, окружающей среде, привели к разрушениям зданий и сооружений, порче и потере имущества, причинению вреда здоровью людей, смертям.

Масштабные наводнения и подтопления в Туапсинском районе случались в 1991, 2001, 2010, 2012, 2014, 2018 гг.

Самым трагичным является наводнение 1991 года, жертвами которого стали 27 человек. Причинами бедствия стал прошедший по окрестным горам огромный смерч, усиливший действие сильных осадков и вызвавший серию оползней. В результате проливных дождей были подтоплены застроенные территории, здания, водозабор, разрушены дороги, мосты.

В с. Георгиевское наводнение 1 августа 1991 года, происшедшее вследствие однократного (несколько минут) выливания потоков воды из очень редких вымеобразных облаков, подняло расход воды в реке Пшенаха в створе с. Георгиевское с 10 до 1900 м^3/с. Подъем уровня воды в реке составлял 6 метров.

В 2010 г. вода поднялась на 1,5 м. В результате паводковой волны 16.10.2010 г., вызванной обильными осадками в горной части Туапсинского района, поднялся уровень рек Пшенаха и Туапсинка. Всего затопило 7 сельских поселений и 17 небольших населенных пунктов. Было задержано движение поездов, 6 человек погибли, 280 — эвакуированы.

В п. Новомихайловский 22.08.2012 г. уровень воды в р. Нечепсухо поднялся на 2,5 м в результате сильного ливня. Затоплено оказалось 600 домов, больница и школа в зоне затопления оказались около 1,5 тыс. человек. Погибли четыре человека.

В 2018 г. вода в реке Пшенаха поднялась на 70 см.

Водный режим водотоков Туапсинского района определяется климатическими, орографическими, гидрогеологическими и гидрографическими особенностями. Подземные воды на изучаемой территории приурочены к аллювиально-делювиальным отложениям. Воды являются безнапорными. Водовмещающими грунтами является гравийный грунт. Положение зеркала водоносных горизонтов находится в прямой зависимости от уровня поверхностных вод и количества выпадаемых атмосферных осадков. Питание водоносных горизонтов рек происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка водоносных горизонтов происходит в реки. Подземные воды имеют прямую гидравлическую связь с местной гидрографической сетью.

Поверхностный сток формируется, в основном, за счет снеговых и дождевых вод, доля подземного питания меньше. Для водотоков характерны частые, но кратковременные паводки, вызываемые дождями, мокрыми снегопадами и снеготаяниями, и летне-осенняя межень лишь изредка нарушается паводками, вызванными ливнями.

Законодательством РФ использование земельных участков и объектов капитального строительства, архитектурно-строительное проектирование, строительство, реконструкция и капитальный ремонт объектов капитального строительства в границах зон затопления паводком 1 % обеспеченности разрешено при условии проведения инженерной защиты территории от затопления паводковыми водами и подтопления грунтовыми водами путем подсыпки (намыва) грунта или строительства дамб обвалования или совмещения подсыпки и строительства дамб обвалования.

Сложившаяся застройка большинства поселений Туапсинского района находится вдоль пойм горных рек, которые в периоды снеготаяния и сильных дождей не справляются с объемом потоков.

На территориях затопления паводком 1 % обеспеченности размещаются или предусмотрены к размещению: многоэтажная и малоэтажная жилая застройка, общественно-деловая застройка разного назначения, промышленно-коммунальные предприятия различных классов вредности, зоны зелёных насаждений общего пользования, объекты инженерно-транспортной инфраструктуры, объекты специального назначения.

Процессы подтопления (образование верховодки) могут привести к негативным последствиям и создать осложнения при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Подтопление обусловлено гидрогеологическими и геоморфологическими условиями участка. При проведении строительных работ возможно образование верховодки, вызванное нарушением естественного дренажа.

Материалы и методы. В состав мероприятий по инженерной защите от затопления и подтопления включены мониторинг режима подземных и поверхностных вод, расходов (утечек) и напоров в водонесущих коммуникациях, деформаций оснований зданий и сооружений, а также наблюдения за работой сооружений инженерной защиты. Продолжительность мониторинга зависит от времени стабилизации гидрогеологического режима, интенсивности осадок оснований сооружений и их срока службы.

В Краснодарском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды — филиале ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС» работают гидрометеорологическое бюро 1 разряда в г. Туапсе и 2 гидрологических поста 1 разряда: Горское — Джубга и на р. Псекупс в с. Садовое, которые ведут мониторинг за уровнем рек в постоянном русле и уровнем поднятия воды в реках в период половодья. Для всех населенных пунктов, где существует вероятность затопления, разработаны модели развития обстановки при подтоплении, которые содержат необходимую справочную информацию и памятку населению с указанием действий при получении информации о подъеме воды, мест эвакуации и оказанием первой помощи.

Данные о затоплениях и подтоплениях на территории поселений Туапсинского района за последние 15 лет собраны и систематизированы. Архив с данными под названием «Проект «Туапсинский» загружен в ГИС свободного доступа QGIS, которая позволяет по координатам земельного участка получить количественные данные

для оценки вероятности поднятия грунтовых вод при подтоплении и затоплении. Департаментом по архитектуре и градостроительству Краснодарского края разработана Инструкция по определению уровня подъёма воды в зонах затопления и подтопления в «Проекте «Туапсинский» на основе применения ПО QGIS.

В проекте все зоны раскрашены в разные цвета: синий цвет — зона затопления; красный, жёлтый, зелёный — зона подтопления. В зоне затопления вода будет выше уровня земли (вода затопит участок), а в зоне подтопления — ниже (вода подтопит участок). В свою очередь, зона подтопления делится на три территории:

– территория сильного подтопления (значение УГВ от 0 до –0,3 м.);

– территория умеренного подтопления (значение УГВ от –0,3 до –2 м);

– территория слабого подтопления (значение УГВ от –2 до –3 м).

В зоне затопления устанавливается уровень поднятия воды в Балтийской системе высот.

Результаты исследования. Рассмотрим расчеты прогноза затопления и подтопления с использованием геоинформационной системы QGIS на примере двух участков.

1. Земельный участок, расположенный в с. Георгиевское Георгиевского сельского поселения Туапсинского района Краснодарского края. Участок расположен на правом берегу реки Пшенаха, южнее участка по склону протекает река Малое Псеушхо. Высотные отметки на участке составляют 83,0–83,3 м. В пределах исследуемой территории согласно классификации по ГОСТ 25100-2020 распространены грунты дисперсные, несвязные, осадочные, аллювиально-делювиальные, минеральные, крупнообломочные.

Река Пшенаха длиной 20 км, водосборная площадь — 126 км². Левый приток — река Малое Псеушхо. В период выпадения обильных или продолжительных осадков, в период снеготаяния и паводков ожидается подъем уровня подземных вод на 1,0–2,0 м.

Участок по координатам нанесен на карту (рис. 1). Земельный участок расположен в зоне подтопления территории при половодьях и паводках р. Пшенаха и р. Малое Псеушхо 1 % обеспеченности (синий контур).



Рис. 1. Зоны затопления и подтопления в пойме р. Малое Псеушхо с нанесенным участком в геоинформационной системе QGIS (фото авторов)

Модель развития обстановки (угрозы затопления и подтопления) участка у реки Малое Псеушхо разработана и представлена по показателю «затопление». Для получения численных значений уровней затопления про-

грамма позволяет построить график с уровнем поднятия воды при паводке 1 % обеспеченности по любым заданным разрезам или по контуру. По графикам определяются максимальные уровни воды в точках участка. Высоты приводятся в Балтийской системе высот (рис. 2, 3).

Моделирование уровня поднятия паводковых вод в пределах земельного участка показало, что участок находится целиком в зоне затопления обеспеченностью 1 %. При этом на южной границе участка вода поднимается на максимальную абсолютную отметку +85,071 м в Балтийской системе высот. На северной стороне участка уровень воды поднимается до отметки 85,0 м. Таким образом, уровень зеркала воды при затоплении участка составит в нижней точке 2,071 м.

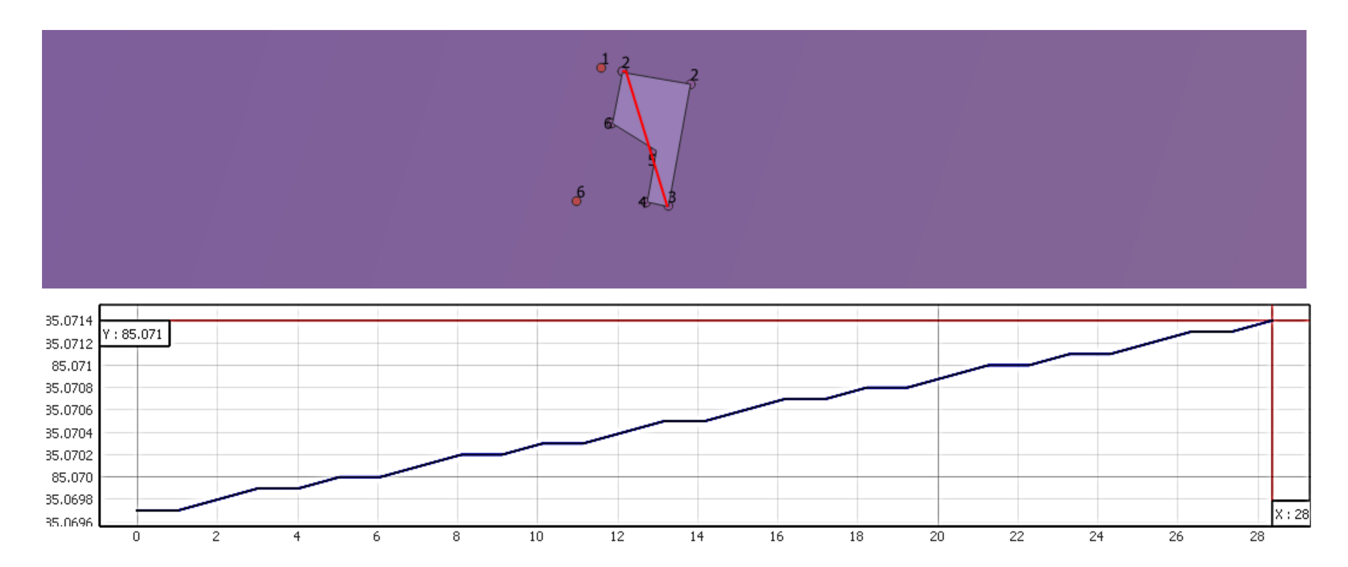


Рис. 2. Результаты моделирования уровня воды на участке (график по линии 3-1). Максимальное поднятие воды до отметки 85,071 м в точке 3 (рисунок авторов)

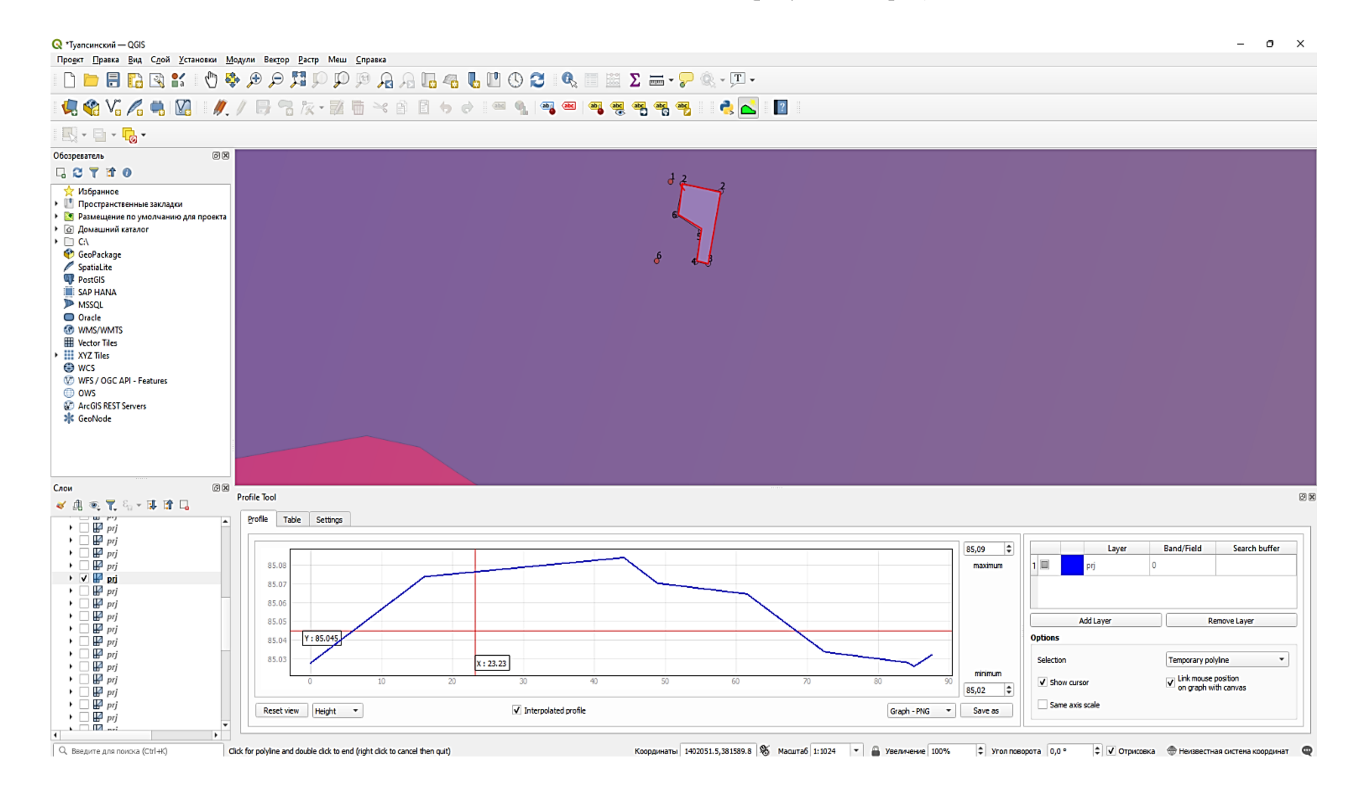


Рис. 3. Результаты моделирования уровня воды по контуру участка (интерфейс программы QGIS) (рисунок авторов)

2. Участок, расположенный в с. Агой Туапсинского района Краснодарского края, имеет ровный рельеф, слабонаклонный к пойме реки Агой. Согласно программе QGIS, участок расположен в зоне сильного и умеренного подтопления (рис. 4). Согласно [1], основная часть участка попадает в зону сильного подтопления (красная зона на карте), где уровень грунтовых вод приближается к поверхности земли, что может привести к заболачиванию или засолению верхних горизонтов почвы. Часть участка расположена в зоне умеренного подтопления с залеганием грунтовых вод в пределах от 0,3–0,7 м до 1,2–2,0 м от поверхности, что приводит к процессам олуговения и засоления средних горизонтов почвы.



Рис. 4. Зоны затопления и подтопления в пойме р. Агой с нанесенным участком (фото авторов)

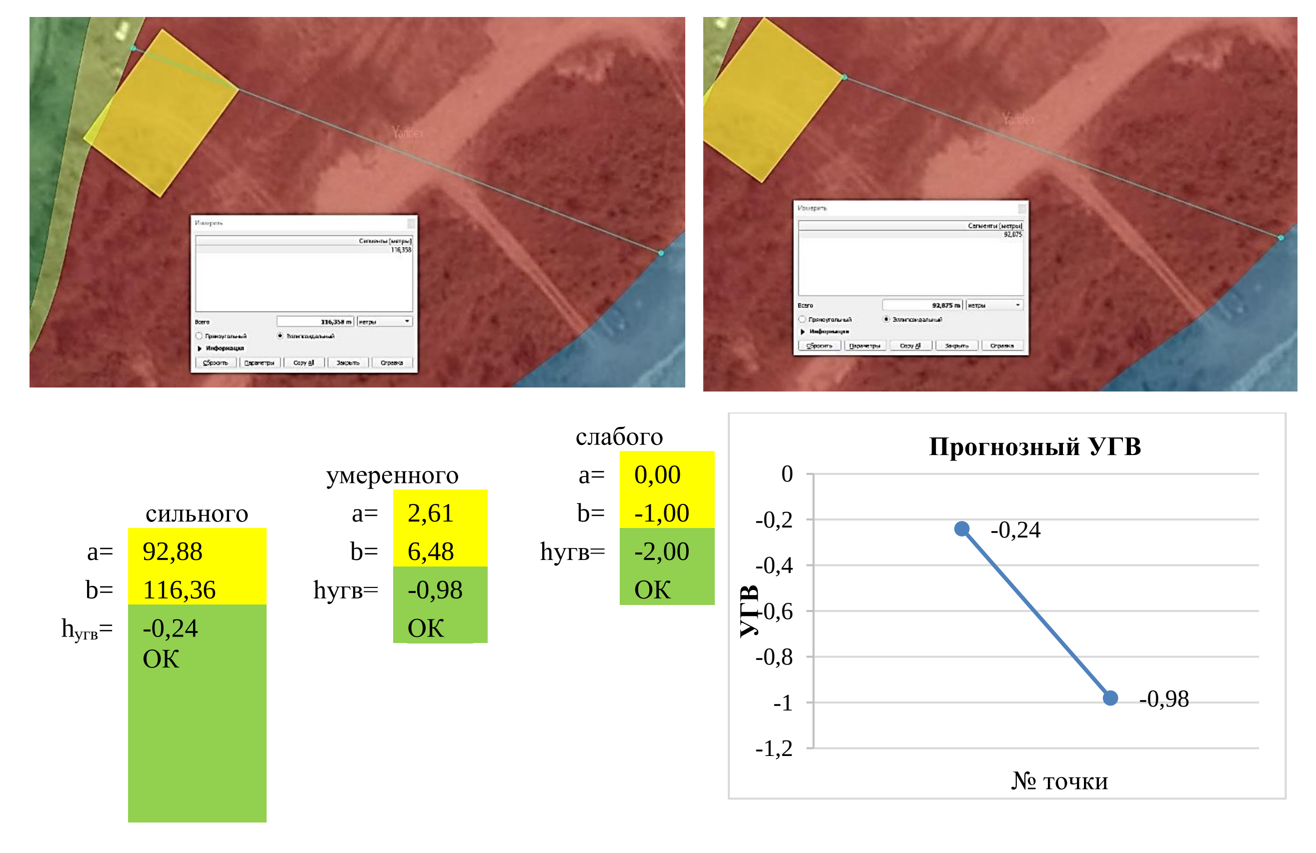


Рис. 5. Определение прогнозного уровня грунтовых вод в геоинформационной системе QGIS (рисунок авторов)

Для определения прогнозной глубины залегания уровня грунтовых вод необходимо выполнить расчёт методом линейной интерполяции на основе планового положения точки по отношению к установленным изолиниям границ территорий подтопления (сильного подтопления при глубине залегания грунтовых вод менее 0,3 м; умеренного подтопления — при глубине залегания грунтовых вод от 0,3 м до 2 м; слабого подтопления — при глубине залегания грунтовых вод от 2 м до 3 м), начиная от границы зоны затопления (рис. 5).

В соответствии с произведенным расчетом прогнозный уровень грунтовых вод на участке может находиться на отметках от –0,24 м до –0,98 м от уровня существующей поверхности грунта при половодьях и паводках р. Агой 1 % обеспеченности.

Таким образом, с помощью геоинформационной системы QGIS установлены границы зон потенциального затопления и подтопления, определены уровни подъема воды на участках, отведенных под застройку в Туапсинском районе Краснодарского края. Результаты представлены в виде графиков прогнозного уровня грунтовых вод при подтоплении и уровня подъема воды при затоплении в указанных точках участка при максимальном подъеме воды в реках.

Обсуждение и заключения. По результатам исследования сделаны следующие выводы.

В существующих гидрогеологических условиях рекомендуется выполнять инженерную защиту территории в соответствии с требованиями СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»:

– выполнить дренажные системы;

– выполнить вертикальную планировку территории с организацией поверхностного стока, включая искусственное повышение рельефа до планировочных отметок, обеспечивающих соблюдение нормы осушения;

– выполнить прочистку открытых водотоков и других элементов естественного дренирования;

– разработать технические решения, направленные на защиту водонесущих инженерных коммуникаций от повреждений, вызванных просадками грунта вследствие его подмыва, корнями растений и т.п. (защитные обоймы, футляры, прикорневые барьеры, усиленная гидроизоляция);

– ливневая канализация должна являться элементом территориальной инженерной защиты от подтопления и проектироваться в составе общей системы инженерной защиты;

– все работы приурочить к сухому периоду года и выполнять в возможно сжатые сроки;

– выполнить гидроизоляцию заглубленных частей сооружений.

В качестве основных средств инженерной защиты территорий от затопления следует предусматривать обвалование, искусственное повышение поверхности территории, руслорегулирующие сооружения и сооружения по регулированию и отводу поверхностного стока, дренажные системы и другие сооружения инженерной защиты.

При проектировании и строительстве зданий необходимо предусматривать следующие мероприятия:

– выполнить искусственное повышение территории участка, придав участку уклон к реке;

– выполнить дренажную систему. Перехват вод, поступающих в водоносный горизонт, следует обеспечивать с помощью контурных дренажей. Предупреждение распространения таких вод допускается обеспечивать путем устройства противофильтрационных экранов и завес.

При проектировании здания необходимо учесть опыт строительства в рассматриваемом районе:

– свайные фундаменты здания;

– отметку пола принимать не ниже максимального уровня поднятия воды;

– конструкции фундаментов выполнить из гидротехнических бетонов;

– по периметру здания выполнить дренаж;

– выполнить гидроизоляцию конструкций, соприкасающихся с грунтом;

– предусмотреть отведение поверхностных вод с благоустройством территории. Проектное решение вертикальной планировки выполнить на основании вертикальных отметок окружающего рельефа с учетом подсыпки, что обеспечит соответствующий порог гидрогеологической безопасности для защищаемой территории.

В основу проектных решений заложены принципы максимального обеспечения водоотвода поверхностным способом с соответствующим уклоном с проездов и отмосток.

При соблюдении перечисленных требований участок обеспечивается инженерной защитой от подтопления и затопления, соответствующей требованиям СП 104.13330.2016 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления».

Библиографический список

1. Степанов, М. А. Влияние процесса подтопления территорий на характеристики грунтов основания зданий и сооружений / М. А. Степанов, Е. П. Брагарь, А. А. Нурпеисова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2021. — № 1 (82). — С. 89–100.

2. Прокопова, М. В. О возможных изменениях свойств грунтов при увеличении уровня подземных вод / М. В. Прокопова, Г. В. Лукьянова // Строительство — 2011: материалы Международной научно-практической конференции. — Ростов-на-Дону: Ростовский гос. строит. ун-т, 2011. — С. 137–138.

3. Целоусов, А. П. Защита фундаментов от грунтовых вод / А. П. Целоусов, Н. А. Адоньев, Я. С. Рубцова, М. В. Прокопова // Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры: Сборник научных трудов II Всероссийской национальной научно-практической конференции. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2020. — С. 247–249.

4. Култаев, Р. С. Опасные инженерно-геологические процессы на территории р. Тойма, влияющие на строительство / Р. С. Култаев // Современные научные исследования и инновации. — 2022. — № 4 [Электронный ресурс]. — URL: https://web.snauka.ru/issues/2022/04/97964

5. Прокопов, А. Ю. Проектирование оснований и фундаментов на подтопляемых территориях / А. Ю. Прокопов, А. Ю. Балахнин, Д. С. Комаров // Актуальные проблемы науки и техники. Материалы нац. науч.-практ. конф. [Электронный ресурс] — Ростов н/Д: ДГТУ, 2020. — С. 672–674. — URL: https://ntb.donstu.ru/conference

6. Мещанкина, О. Г. Инженерная защита зданий и территорий от подтопления грунтовыми водами / О. Г. Мещанкина, Т. В. Турушева // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов: XXI Международная научно-практическая конференция. — Чита: Забайкальский государственный университет, 2021. — С. 65–68.

7. Прокопов, А. Ю. Выбор и обоснование методов берегоукрепления (на примере р. Кубань в г. Краснодаре) / А. Ю. Прокопов, В. А. Лебидко // Известия РГСУ. — 2015. — Т. 2. № 20. — С. 41–48.

8. Прокопов, А. Ю. Изучение напряженно-деформированного состояния грунтового массива и взаимного влияния подземных конструкций существующих и вновь возводимых сооружений в береговой зоне морского порта Тамань / А. Ю. Прокопов, В. Ф. Акопян, К. Н. Гаптлисламова // Инженерный вестник Дона. — 2013. — № 4. — URL: http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2104

9. Прокопов, А. Ю. Экспериментальные исследования повышения устойчивости береговых склонов в инженерно-геологических условиях реки Тигр в Республике Ирак / А. Ю. Прокопов, Х. Х. Аль-Екаби // Строительство и архитектура — 2021: материалы Между-нар. науч.-практ. конф. — Ростов н/Д: ДГТУ, 2021. — С. 156–158.

10. Цветков, О. Ю. Подтопление городских земель как фактор снижения градостроительной привлекательности территории / О. Ю. Цветков // Дальневосточная весна – 2021: Материалы 19-й Международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности. — Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. — С. 367–371.

11. Сафина, Г. Р. Вовлечение подтопленных территорий в городское строительство / Г. Р. Сафина, В. А. Федорова, Л. С. Демина // Естественнонаучные исследования в Чувашии. — 2022. — № 8. — С. 144–153.

12. Прокопов, А. Ю. Анализ инженерно-геологических условий и оценка сейсмического воздействия на территорию перспективной застройки в зоне вероятного затопления на примере г. Феодосии / А. Ю. Прокопов, А. В. Новосельцев, И. В. Сычев // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2022. — № 3. — С. 300–316.

13. Вдовенко, А. В. Оценка эффективности мероприятий по защите дальневосточных поселений от негативного воздействия вод / А. В. Вдовенко, В. А. Вдовенко, П. И. Егоров [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — № 2–1 (116). — С. 73–79. — DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.116.2.012

14. Прокопов, А. Ю. Анализ факторов, способствующих развитию подтопления на территории 5-го микрорайона Левенцовский в Ростове-на-Дону / А. Ю. Прокопов, В. С. Ласун // Строительство и архитектура — 2020: материалы Междунар. науч.-практ. конф. — Ростов н/Д: ДГТУ, 2020. — С. 299–303.

15. Арефьева, Е. В. Подтопление урбанизированных территорий как фактор чрезвычайных ситуаций / Е. В. Арефьева // Природопользование: от истории к современности. Куражковские чтения: Материалы I Международной научно-практической конференции. — Астрахань: Астраханский государственный университет, 2022. — С. 109–114.

16. Прокопов, А. Ю. Анализ причин подтопления территории учебного полигона ДГТУ в районе Змиевской балки в г. Ростове-на-Дону / А. Ю. Прокопов, А. В. Гридневский, А. С. Гибадуллин // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 12-я Международная Конференция. — Тула: ТулГУ, 2016. — С. 215–222.

17. Гридневский, А. В. Природно-техногенные условия формирования подтопления межбалочных пространств города Ростова-на-Дону / А. В. Гридневский, А. Ю. Прокопов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2019. — № 2. — С. 26–37.

18. Прокопов, А. Ю. Применение картографического метода исследований для выявления опасных зон градопромышленных территорий (на примере г. Шахты) / А. Ю. Прокопов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2018. — № 1. — С. 35–51.

19. Гридневский, А. В. Анализ причин подтопления города Зернограда методом численного гидрогеологического моделирования / А. В. Гридневский, А. Ю. Прокопов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2019. — № 1. — С. 78–91.

20. Гридневский, А. В. Численные гидрогеологические модели Зернограда как инструмент идентификации факторов деформаций зданий в условиях техногенного подтопления / А. В. Гридневский, А. Ю. Прокопов // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: Материалы международной научно-технической конференции. — Новочеркасск: ООО "Лик", 2018. — С. 747–762.

Поступила в редакцию 16.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Прокопова Марина Валентиновна — главный инженер проекта, ООО «ГеоИндустрия» (344011, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Текучева, 162), кандидат технических наук, доцент, ScopusID, ORCID, sun210872@yandex.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.





УДК 624.048
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-33-39

Научная статья



Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания в программном комплексе ЛИРА

М. П. Котенко ✉, И. Ф. Развеева , С. А. Иванченко, А. А. Федчишена

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ maria.kotencko2016@yandex.ru

Аннотация

Введение. В последние годы многие исследователи заинтересовались применением различных типов метода конечных элементов для изучения проблем связанные с колебанием зданий. Наряду с применением метода конечных элементов для анализа собственных колебаний в последние десятилетия успешно используется физическое моделирование. Масштабированное физическое моделирование и экспериментальные подходы также подходят для решения сложных проблем. Основная цель нашего исследования заключается в следующем: выявить зависимость динамических характеристик каркаса здания от геометрических характеристик элементов этого каркаса. Задача данного исследования: анализ и обзор по теме, определение научного дефицита, проведение численных и экспериментальных исследований, формулирование выводов, моделирование, анализ результатов. Научная новизна состоит в том, что полученные данные по собственным колебаниям каркаса здания в зависимости от геометрических характеристик элементов этого каркаса можно использовать в качестве оптимального соотношения жесткостей. Практическая значимость исследования состоит в разработке конкретных аналитических взаимосвязей для выбора варианта проектного решения каркаса здания с оптимальным параметром собственных частот в практике проектирования и строительства.

Материалы и методы. Создание и расчет конечно-элементной модели был выполнен в программном комплексе ЛИРА.

Результаты исследования. В результате расчета были получены частоты и периоды собственных колебаний каркаса здания.

Обсуждение и заключения. По результатам анализа собственных колебаний здания сделан вывод о том, что, изменяя жесткости элементов каркаса, можно подбирать его динамические характеристики для определения оптимального варианта проектного решения конструкций.

Ключевые слова: метод конечных элементов, динамический расчет, собственные колебания зданий, параметры собственных колебаний, жесткость элементов каркаса.

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам, чья критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи.

Для цитирования. Котенко, М. П. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания в программном комплексе ЛИРА / М. П. Котенко, И. Ф. Развеева, С. А. Иванченко, А. А. Федчишена // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 1. — С. 33–39. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-33-39

Original article

Regulation of the Natural Oscillations Parameters of a Building Spatial Frame in the LIRA Software

Maria P. Kotenko ✉, Irina F. Razveeva , Sergey A. Ivanchenko, Anastasia A. Fedchishena

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ maria.kotencko2016@yandex.ru

Abstract

Introduction. In recent years many researchers have become interested in applying the various types of finite element method to studying of the buildings oscillation problems. In recent decades the finite element method is being successfully used for natural oscillations analysis along with the physical modeling. The scaled physical modeling and experimental approaches are also suitable for solving the complex problems. The main aim of our research is to identify the dependence of dynamic characteristics of a building frame on geometric characteristics of the frame elements. The objective of this research is to make an analysis and overview of the topic, to determine the scientific deficit, to conduct numerical and experimental studies, to formulate conclusions, to model and analyse the results. The scientific novelty consists in the possibility to use the obtained data on building frame natural oscillations depending on the geometric characteristics of the frame elements as an optimal rigidness ratio. The practical significance of the research consists in development of specific analytical relations for choosing a building frame design solution with an optimal natural frequencies parameter to be used in design and construction practice.

Materials and methods. The creation and calculation of the finite element model was carried out in the LIRA software package.

Results. As a result of calculation the frequencies and periods of building frame natural oscillations were obtained.

Discussion and conclusions. Based on the results of the building natural oscillations analysis the conclusion was made that by changing the frame elements rigidity it's possible to select its dynamic characteristics to find the optimal design solution of structures.

Keywords: finite element method, dynamic calculation, buildings natural oscillations, natural oscillations parameters, frame elements rigidity.

Acknowledgements: The authors express their gratitude to the reviewers, whose critical assessment of the submitted materials and shared suggestions on their improvement have immensely enhanced the quality of this article.

For citation. M. P. Kotenko, I. F. Razveeva, S. A. Ivanchenko, A. A. Fedchishena. Increasing the strength and rigidity of reinforced concrete eccentrically compressed elements with carbon fiber reinforcement. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 1, pp. 33–39. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-33-39

Введение. Актуальной проблемой современных зданий и сооружений является, с научной точки зрения, недостаточная изученность взаимосвязи различных факторов, приводящих к колебанию этих зданий и сооружений, а с практической точки зрения — некоторый дефицит прикладных решений противодействия таким колебаниям. В последние годы многие исследователи заинтересовались применением различных типов метода конечных элементов для изучения собственных колебаний здания. Наряду с применением метода конечных элементов моделирование в различных программных комплексах также успешно используется. Привлекательные аспекты этого моделирования в возможности изучения сложных систем и процессов, происходящих в заданной конструкции.

Моделирование в программных комплексах является распространенным методом при исследовании собственных колебаний зданий, инициируемых подземными туннелями, в районах с повышенной сейсмичностью для предотвращения последующих аварийных ситуаций. Динамический расчет является эффективным методом, который позволяет получить реальные параметры собственных колебаний.

Основная цель исследования заключается в следующем. Выявить зависимость динамических характеристик каркаса здания от геометрических характеристик элементов этого каркаса.

Задача данного исследования: анализ и обзор по теме, определение научного дефицита, проведение численных и экспериментальных исследований, формулирование выводов, моделирование, анализ результатов.

Научная новизна состоит в том, что полученные данные по собственным колебаниям каркаса здания в зависимости от геометрических характеристик элементов этого каркаса можно использовать в качестве оптимального соотношения жесткостей.

Практическая значимость исследования состоит в разработке конкретных аналитических взаимосвязей для выбора варианта проектного решения каркаса здания с оптимальным параметром собственных частот в практику проектирования и строительства.

Материалы и методы. Моделирование пространственного каркаса здания было сделано в программном комплексе ЛИРА. Расчет строительной конструкции выполнялся с использованием метода конечных элементов. Полученные результаты были обработаны с помощью методов математической статистики и обработки результатов.

Исходные данные для расчета были взяты из обобщенной отечественной практики по проектированию зданий.

Для расчета была представлена модель со следующими параметрами: пространственный каркас здания имеет 12 этажей, прямоугольную форму с размерами в плане 44×20 м, высоту 54 м. Сетка конечных элементов задана с шагом 500×500 мм. Количество элементов в заданном каркасе здания составило 40524. Количество узлов — 39 148.

Колонны — монолитные железобетонные с сечением 500×500 мм — средний ряд и 1000×500 мм — крайний ряд.

Плиты перекрытия и покрытия — монолитные железобетонные толщиной 250 мм.

Класс бетона колонн и плит перекрытия был задан маркой В25.

Конструктивная схема здания — монолитный железобетонный каркас с колоннами и плоскими безбалочными перекрытиями.

Район строительства был выбран со следующими параметрами: снеговой район III, ветровой район II, тип местности В.

Модель пространственного каркаса представлена на рис. 1.

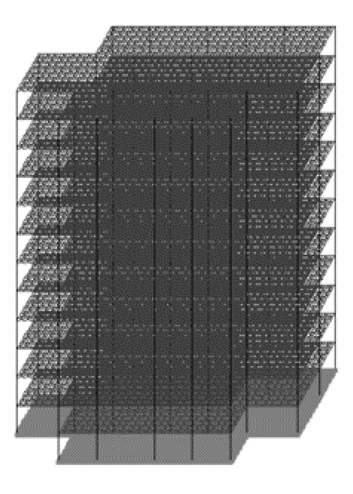


Рис. 1. Модель 12-этажного здания, созданная в ПК ЛИРА (рисунок авторов)

В качестве нагрузок учитывались: собственный вес конструкции, вес перегородок и инженерного оборудования, снеговая нагрузка, полезная нагрузка, статическая ветровая нагрузка, пульсационная ветровая нагрузка.

Для упрощения расчета модели пространственного каркаса здания работа основания не учитывалась.

При выполнении анализа учитывались 10 форм собственных колебаний здания. Виды форм колебаний представлены на рис. 2.

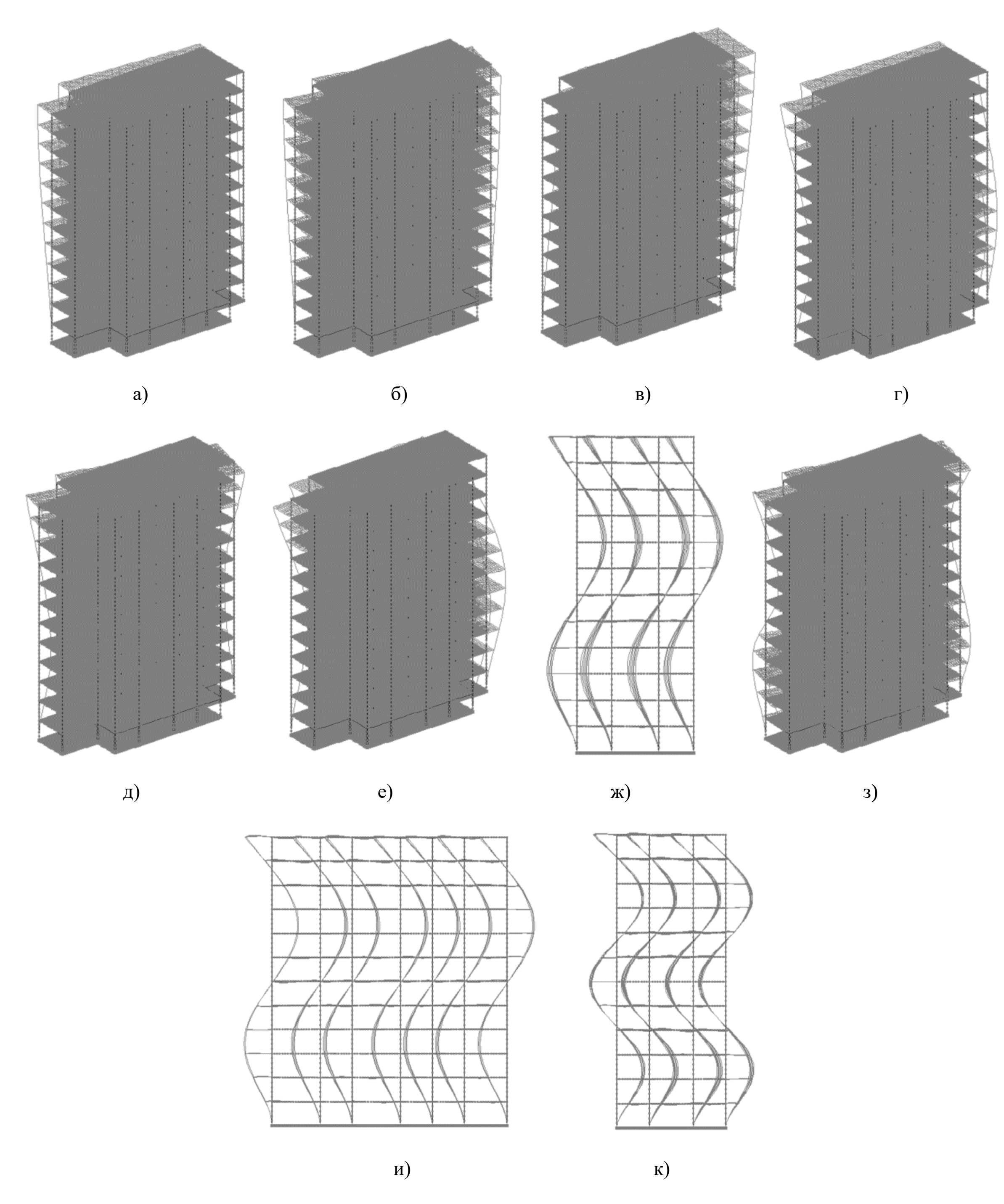


Рис. 2. Формы собственных колебаний здания (рисунок авторов)

а) форма 1; б) форма 2; в) форма 3; г) форма 4; д) форма 5; е) форма 6; ж) форма 7; з) форма 8; и) форма 9; к) форма 10

Исследование влияния геометрических характеристик отдельных элементов каркаса здания было проведено 8 раз. Данные с исходными вариативными характеристиками элементов пространственного каркаса здания представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика сечений элементов пространственного каркаса здания

№ Варианта	Сечение колонны крайнего ряда, мм	Сечение колонны крайнего ряда, мм	Толщина плиты перекрытия, мм
1	500×1000	500×500	250
2	400×800	400×400	250
3	300×600	300×300	220
4	300×600	300×300	200
5	500×1000	500×500	220
6	600×1200	600×600	250
7	400×800	400×400	200
8	500×1000	400×400	220

Результаты исследования. Был проведен численный эксперимент на программном комплексе ЛИРА. Результаты от варьирования параметров сечения элементов пространственного каркаса здания приведены ниже.

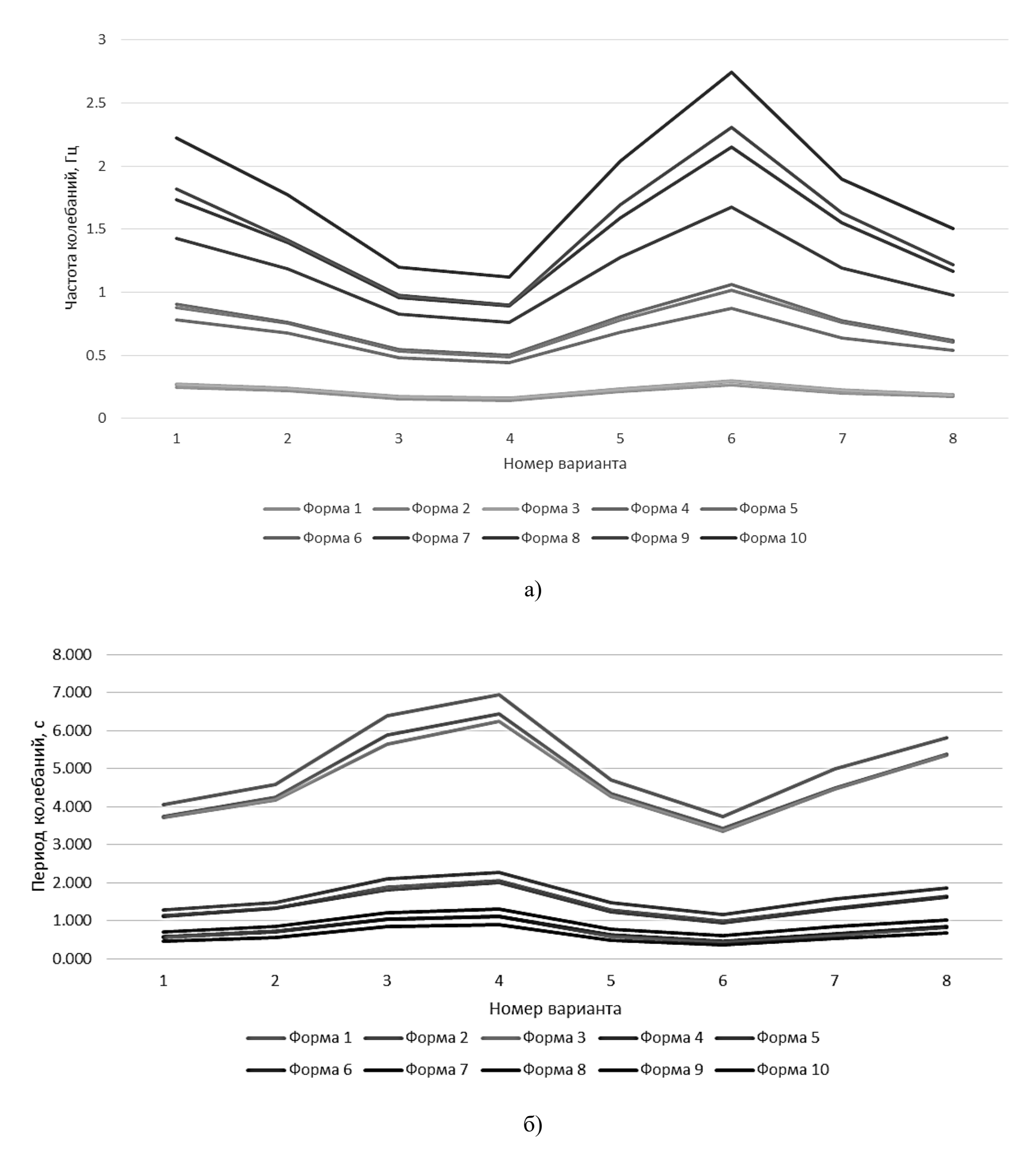


Рис. 3. Результаты динамического расчета: а) частота собственных колебаний; б) период колебаний (рисунок авторов)

На рис. 3а представлены данные собственных колебаний зданий, собранные в график, показывающий, что самый оптимальный вариант соотношения жесткостей представлен в опыте № 4. Для этого варианта расчета были получены минимальные частоты и максимальный период собственных колебаний.

Для варианта расчета № 6 были получены значения собственных частот, превышающие в среднем в 1,13 раза значения варианта № 4 и в 0,52 раза был уменьшен период собственных колебаний.

Обсуждение и заключения. Полученные результаты отличаются от результатов других авторов тем, что был произведен анализ взаимосвязи динамических и геометрических параметров для выбора оптимального варианта для удовлетворения условиям надежности конструкции. В данном исследовании не производился расчет сейсмостойкости и возможного восприятия вибрации здания.

В настоящем исследование продемонстрировано моделирование типичного двенадцатиэтажного железобетонного каркаса здания и расчет с помощью метода конечных элементов в программном комплексе ЛИРА, который позволяет выполнять различные вариации проектных решений.

Установлена аналитическая зависимость динамических характеристик каркаса здания от геометрических характеристик элементов каркаса здания.

Определены основные факторы, влияющие на собственные частоты и периоды колебания зданий, такие как геометрия строительной системы.

Предлагается внедрение полученных результатов в практику проектирования, что может привести к улучшению выбора варианта проектного решения каркаса здания с оптимальными параметрами и будет способствовать соответствующим изменениям в строительной отрасли.

Библиографический список

1. Vibration Analysis of Asymmetric-Plan Frame Buildings Using Transfer Matrix Method / K. B. Bozdogan, D. Ozturk // Math. Comput. Appl. — 2010. — Vol. 15, No 2. — P. 279–288. — DOI: https://doi.org/10.3390/mca15020279

2. Effect of Foundation Geometry and Structural Properties of Buildings on Railway-Induced Vibration: An Experimental Modeling / M. Mousavi-Rahimi, J. A. Zakeri, M. Esmaeili // Buildings. — 2022. — Vol.12, No 5. — P. 604. — DOI: https://doi.org/10.3390/buildings12050604

3. Орехов, В.В. Оценка параметров землетрясений и собственных колебаний массивных сооружений на территории Ирана / В. В. Орехов, А. А. Мохамад // Вестник МГСУ. — 2008. — № 2. — С. 37–40.

4. Соболев, В. И. Синтез динамических систем при ограничениях на частоты собственных колебаний / В. И. Соболев, Н. Ф. Туан // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2013. — № 9 (80). — С. 89–95.

5. Нестеренко, А.М. Комплекс динамических параметров для анализа технического состояния строительных систем / А. М. Нестеренко, М. Ю. Нестеренко // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. — 2018. — № 1. — С. 8.

6. Агаханов, Э. К. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания / Э. К. Агаханов, Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 8–15.

7. Зинатуллин, А. В. Особенность динамических откликов элементов конструкций зданий повышенной этажности / А. В. Зинатуллин, О. А. Ковальчук // Вестник ТГАСУ. — 2013. — № 1 (38). — С. 59–64.

8. Кравченко, Г. М. Исследование собственных колебаний здания сложной параметрической формы / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, И. Ю. Данилейко, В. А. Думбай // Молодой исследователь Дона. — 2019. — № 6 (21). — С. 41–47.

9. Хазов, П.А. Определение частот собственных колебаний многоэтажных эданий / П.А. Хазов, О.М. Кофорова // Евразийский союз ученых. — 2015. — № 4–4 (13). — С. 83–86.

10. Земцова, О. Г. Определение периода и формы собмтвенных колебаний зданий и сооружений при сейсмическом воздействии с учетом податливости основания / О. Г. Земцова // Инженерный вестник Дона. — 2021. — № 5 (77). — С. 546–552.

11. Могилюк, Ж. Г. Нормативные проблемы расчета динамических параметров зданий и сооружений / Ж. Г. Могилюк, В. В. Подувальцев // Компетентность. — 2020. — № 9–10. — С. 22–30.

Поступила в редакцию 16.11.2022

Поступила после рецензирования 25.11.2022

Принята к публикации 30.11.2022

Об авторах:

Котенко Мария Павловна — студент Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1) ORCID, maria.kotencko2016@yandex.ru

Развеева Ирина Федоровна — старший преподаватель кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, razveevai@mail.ru

Иванченко Сергей Анатольевич, компания Реопласт, Донской государственный технический университет (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), sergey.ivanchenko@rheoplast.ru

Федчишена Анастасия Анатольевна — студент Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), afedchishena@mail.ru.

Заявленный вклад авторов:

И. Ф. Развеева, М. П. Котенко — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов. С. А. Иванченко, А. А. Федчишена — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



УДК 624.048
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-40-48

Научная статья



Информационное моделирование реконструкции каркаса административного многоэтажного здания

Г. М. Кравченко, **Е. В. Труфанова**, **М. И. Кадомцев**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
galina.907@mail.ru

Аннотация

Введение. Данное исследование посвящено проблеме выбора конструктивных решений для усиления каркаса реконструируемого многоэтажного административного здания. Предметом исследования выбрано бывшее здание Совета Министров Республики Абхазия в г. Сухум.

Материалы и методы. При обследовании изучаемого здания были применены методы инструментального и визуального обследования, которые выявили значительный прогиб плиты покрытия и удерживающих ее двух стальных балок, а также появление трещин в несущих конструкциях и разрушение перегородок. По результатам обследования разработаны объемно-планировочные чертежи и ведомость дефектов конструкций. Разработана пространственная конечно-элементная модель здания в программном комплексе «ЛИРА-САПР» с учетом разработанных объемно-планировочных решений по реконструкции объекта исследования. Нагрузки и воздействия заданы с учетом требования актуальных норм проектирования. Учтены обнаруженные дефекты элементов конструкций.

Результаты исследования. Выполнен динамический расчет каркаса здания методом конечных элементов. Анализ результатов расчета показал, что все три формы колебаний крутильные, что говорит о сложных конструктивных решениях каркаса здания и требует дополнительных расчетов для обеспечения надежности конструктивных решений. Заданы динамические нагрузки на каркас здания с учетом требований к зданиям с каркасом сложной конструктивной системы. Результаты общего статического расчета показали, что несущие конструкции здания находятся в работоспособном состоянии за исключением плиты покрытия.

Обсуждение и заключения. По результатам численного эксперимента по моделированию работы плиты покрытия разработаны рациональные решения по ее реконструкции, даны рекомендации по учету сейсмических воздействий на каркас реконструируемого здания Совета Министров.

Ключевые слова: конструктивные решения, усиления каркаса, реконструкция каркаса, метод конечных элементов, конечно-элементная модель, формы собственных колебаний, параметры собственных колебаний, сейсмические воздействия.

Для цитирования. Кравченко Г. М. Информационное моделирование реконструкции каркаса администра-тивного многоэтажного здания / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, М. И. Кадомцев // Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий. — 2022. — Т. 1, № 2. — С. 40–49.
https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-40-48

Original article

Information Modeling of the Administrative Multi-Storey Building Frame Reconstruction

Galina M. Kravchenko ✉, Elena V. Trufanova , Maxim I. Kadomtsev

Don State Technical University, Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ galina.907@mail.ru

Abstract

Introduction. The present study is targeting the problem of choosing construction solutions for strengthening the frame of a reconstructed multi-storey administrative building. The object of the study is the former Council of Ministers building in the town of Sukhum, Republic of Abkhazia.

Materials and methods. During the examination of the building under study, instrumental and visual inspection methods were implemented, which revealed the significant deflection of the roof slab and of two supporting steel beams, as well as emergence of cracks in the load bearing structures and the destruction of partitions. According to the results of examination the dimensional-planning drawings and a structures' defects list were elaborated. A spatial finite element model of the building was developed in the LIRA-SAPR software package, taking into account the developed dimensional-planning solutions for the reconstruction of the facility under study. Loads and impacts were set taking into account the requirements of relevant design standards. The detected defects of the structures' elements were considered.

Results. The dynamic calculation of the building frame by finite element method is carried out. The calculation results analysis has shown that all three forms of oscillations are torsional, which proves the structural solutions of the building frame to be complex and requires additional calculations to ensure reliability of construction solutions. The building frame dynamic loads are set taking into account the requirements for buildings with a complex structure frame. The results of the general static calculation has shown that the load-bearing structures of a building are in operating state except for the roof slab.

Discussion and Conclusions. Based on the results of a numerical experiment on modeling the operation of the roof slab, the rational solutions for its reconstruction have been developed, recommendations on considering the seismic impacts on the reconstructed building frame of the Council of Ministers have been given.

Keywords: construction solutions, strengthening of the frame, finite element method, finite element model, forms of natural oscillations, parameters of natural oscillations, seismic impacts.

For citation. G. M. Kravchenko, E. V. Trufanova, M. I. Kadomtsev. Information Modeling of the Administrative Multi-Storey Building Frame Reconstruction Modern Trends in Construction. Urban and Territorial Planning, 2022, vol. 1, no. 2, pp. 40–49. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2022-1-2-40-48

Введение. Обследование конструкций зданий и сооружений – это комплекс мероприятий и исследований, необходимых для определения текущего состояния конструктивных элементов здания. В процессе обследования определяют дефекты строительных конструкций и оценивают возможности дальнейшей эксплуатации здания.

Для большинства зданий г. Сухум характерны повреждения конструкций в результате техногенных воздействий. Значительное количество зданий было построено по нормам, которые уже несколько раз актуализировались и изменялись. Обследование и реконструкция таких объектов необходима не только для дальнейшего их использования, но и для восстановления архитектурного облика городов и привлечения новых потоков туристов в рекреационную зону.

В качестве объекта исследования выбрано здание Совета Министров Республики Абхазия в г. Сухум (рис. 1).

Боковые корпуса комплекса были построены еще в 1935 году по проекту архитекторов В. Г. Гельфрейх и В. А. Щуко. Высотную часть возвели в 1980-е, позаботившись о том, чтобы архитектурный стиль гармонировал с остальными зданиями. За счет своей высоты здание хорошо просматривается со всех центральных улиц г. Сухум. В 1993 г. в здании бушевал сильнейший пожар, вызвавший сильные повреждения несущих конструкций. С тех пор этот комплекс зданий много лет стоит заброшенным.

Технические решения, предусмотренные реконструкцией, представлены комплексом технологических, технических и организационных мероприятий, направленных, в первую очередь, на повышение надежности, противопожарной и экологической безопасности проектируемых объектов, нанесению минимального ущерба окружающей природной среде.



Рис. 1. Здание Совета министров Республики Абхазия в г. Сухум (фото авторов)

Высота этажей исследуемого объекта: цокольный этаж – 2780 мм (от пола до пола), 1 – 12 этаж – 3370 мм (от пола до пола), 13-й этаж (технический) – 2650 мм (от пола до потолка).

Предлагается на первом и втором этажах расположить 18 помещений назначения общего пользования: буфеты, гардеробные, архив, читальный зал, множительно-копировальные центры и т.д. В процессе реконструкции каждый этаж оборудовать санузлами (в том числе санузлом для малогабаритного населения (МГН)). Вход в здание через центральную лестницу оснастить электрическими подъемниками для МГН.

Функциональную связь между этажами обеспечат четыре пассажирских лифта, доходящих до 12 этажа. С первого на тринадцатый этаж можно попасть при помощи двух лестниц, находящихся по краям здания. Также второй и цокольный этаж связывают две винтовые лестницы.

Центральная прямая широкая лестница запроектирована с учетом перевозки МГН, включая МГН-колясочников (с системой работы лифта «перевозка пожарных подразделений» и «пожарная опасность»).

На 3–12 этажах будут располагаться кабинетные помещения, конференц-залы, залы совещаний. Все офисные помещения имеют типовую планировку, современную отделку в европейском стиле и оснащены индивидуальными

счетчиками энергоресурсов. В период эксплуатации планировка помещений офисного назначения может быть изменена, как и функциональное назначение отдельно взятого кабинета.

На 11 и 12 этажах предусмотрен большой актовый зал, занимающий сразу два этажа, используемый для проведения больших мероприятий.

Внешний и внутренний облик здания после реконструкции определяется требованиями функциональности, практичности, технико-экономическим обоснованием.

Проектные и планировочные решения обеспечивают нормативные инсоляцию и санитарно-гигиенические условия всех офисных помещений.

Для выбранного объекта необходимо выполнить обследование конструкций каркаса здания, разработать объемно-планировочные чертежи и ведомость дефектов конструкций, выполнить численные эксперименты по моделированию работы конструкций здания с учетом выявленных дефектов, предложить методы по учету динамических нагрузок на каркас здания в соответствии с действующей нормативной документацией. По результатам исследования разработать рекомендации по реконструкции каркаса многоэтажного административного здания.

Актуальность исследования заключается в необходимости развития и совершенствования методологии расчета зданий и сооружений с учетом последствий техногенных воздействий. В настоящее время отсутствует единая концепция для выполнения таких расчетов, в том числе не разработаны аналитические методы для определения возможных повреждений на всех этапах жизненного цикла здания, построения прогнозов с целью определения вероятности и масштабов разрушений в случае возникновения аварийных ситуаций. Исследование и контроль напряженно-деформированного состояния здания и его элементов позволяет грамотно определить возможности обрушения несущих конструкций под воздействием техногенных или природно-техногенных нагрузок.

Решение задачи о безопасности конструктивной системы здания или сооружения обуславливается обеспечением двух главных показателей, таких как надежность и живучесть системы. Необходимо обеспечить такую работу сооружения, которая отвечала бы требованиям надежности и пригодности к нормальной эксплуатации в течение всего жизненного цикла здания.

В современных условиях большую роль играет математическое моделирование, создание цифровой модели объекта. Новые технологии позволяют провести серию численных экспериментов путем изменения входных параметров и условий функционирования. Компьютерные модели заменяют натурные эксперименты. При выполнении численного эксперимента вероятность получения точного результата возрастает, при этом количество экспериментов не ограниченно.

Информационное моделирование позволяет охватить широкий спектр возможных вариантов событий. В данном случае качественные результаты можно получить достаточно быстро. Не требуется создавать сложные условия для реализации возможных аварийных ситуаций, которые повлекут материальные затраты. Численные эксперименты позволяют рассмотреть вопросы устойчивости конструкций при взрыве, пожаре или землетрясении, спрогнозировать возможные разрушения.

Моделирование сценариев и исследование возможных последствий позволяет говорить об эффективности принятых конструктивных и объемно-планировочных решений.

Цифровая модель объекта исследования реализуется с использованием специализированных программных комплексов, позволяющих рассматривать влияние этапа жизненного цикла на состояние элементов каркаса.

Материалы и методы. Выполнен визуальный и инструментальный осмотр каркаса здания с фотофиксацией (рис. 2). Исследовательские работы проводились согласно СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих

строительных конструкций зданий и сооружений», ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и ВСН 53-86(р) «Правила оценки физического износа жилых зданий». На момент проведения технического обследования здание не эксплуатировалось.



Рис. 2. Фотофиксация объекта (фото авторов)

Конструктивная схема здания – монолитный железобетонный каркас. Пространственная жесткость и устойчивость здания обеспечивается совместной работой колонн, балок, стен, монолитных плит перекрытия и покрытия. Фундаменты здания — монолитная железобетонная плита толщиной 1500 мм из бетона класса В30. Армирование выполнено отдельными стержнями арматуры класса А400 в продольном и поперечном направлении. Перекрытия монолитные толщиной 300 мм. Шахта лифта выполнена из керамического кирпича, лестничный узел монолитный. Наружные стены выполнены из керамического кирпича. Между поверхностями стен и колонн каркаса предусмотрен зазор не менее 20 мм, кладка имеет гибкие связи с каркасом, не препятствующие горизонтальным смещениям каркаса вдоль стен. Кровля плоская с водоотведением в ливневую канализацию.

В результате обследования установлен прогиб плиты покрытия пролетом 12 м, равный 205 мм при нормативно допустимом — 48 мм. Причиной прогиба плиты покрытия стала деформация двух стальных двутавровых балок сечением 60Б2, поврежденных коррозией и пожаром на этаже (рис. 3).



Рис. 3. Прогнутые стальные балки и плита покрытия (фото авторов)

Выполнен численный эксперимент по моделированию напряженно-деформированного стояния плиты покрытия с учетом полученного прогиба. Расчеты выполнены методом конечных элементов (МКЭ).

Основными теоретическими основами МКЭ являются: интерполяция данных, выбор аппроксимирующих функций, модификация краевых условий и точность вычислений. Ряд основных типов конечных элементов, используемых в строительной механике, общий алгоритм статического и динамического расчетов, результаты расчетов реальных зданий и сооружений методом конечных элементов, практические рекомендации, типичные и нетипичные проблемы и ошибки рассматриваются в работах многих авторов. Главным преимуществам МКЭ принято считать его понятность и доступность, а также тот факт, что МКЭ применяется для широкого круга задач.

Моделирование зданий и сооружений сложной формы, в том числе с учетом нагрузок на такие объекты, осуществляется исследователями с применением МКЭ с помощью различных инструментов и программных комплексов. МКЭ является главным инженерным инструментом автоматизированного математического анализа напряженно-деформированного состояния строительных конструкций.

В программном комплексе «ЛИРА-САПР» разработаны конечно-элементные модели технического этажа здания с учетом начального прогиба, соответствующего ведомости дефектов, и без дополнительных воздействий (рис. 4).

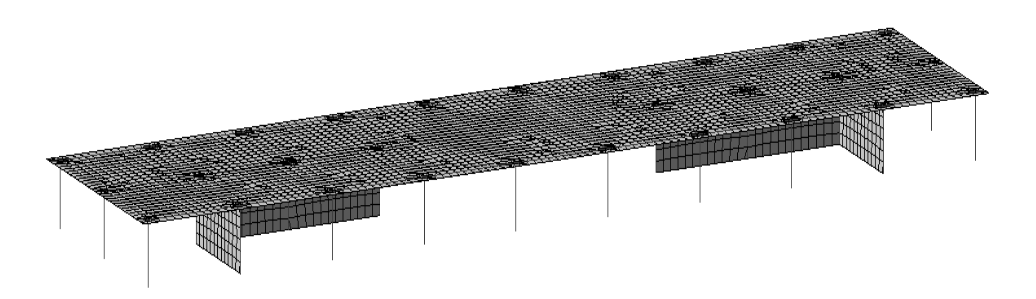


Рис. 4. Конечно-элементная модель этажа

Расчет по предельным состояниям II группы выполняется при ширине трещин продолжительного раскрытия — 0,3 мм, непродолжительного раскрытия — 0,4 мм. Шаг арматурных стержней принят 200 мм.

Класс бетона для всех конструктивных элементов принят В25 при относительной влажности воздуха 80 %. Класс продольной арматуры А-III, поперечной — А-I.

Получены площади арматуры железобетонной плиты покрытия в нормальном и аварийном состоянии. Армирование плиты в аварийном состоянии увеличилось в 8,3–17,2 раза по сравнению с армированием плиты без учета критических прогибов.

Предлагается выполнить демонтаж деформированной части монолитной железобетонной плиты покрытия методом вырезания и выполнить замену стальных балок.

Для подтверждения надежности несущих конструкций каркаса здания проведены статические и динамические расчеты в программном комплексе «ЛИРА-САПР» по пространственной схеме «основание — фундамент — верхнее строение» (рис. 5). Количество узлов расчетной модели — 60339, количество элементов — 74510, количество загружений — 10, средний размер сетки пластинчатых КЭ — 0,5×0,5 м.

Выполнено сравнение нагрузок на каркас здания по строительным нормам, актуальным на момент проектирования здания, и нагрузок по современным требованиям. В соответствии со СНиП II-6-74 Глава 6 «Нагрузки и воздействия» нагрузка на год постройки от снега составляла 50 кг на 1 м^2. В соответствии с актуализированной редакцией СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия» площадка строительства расположена в снеговом районе с нормативным значением веса снегового покрова на 1м^2 в 80 кг.

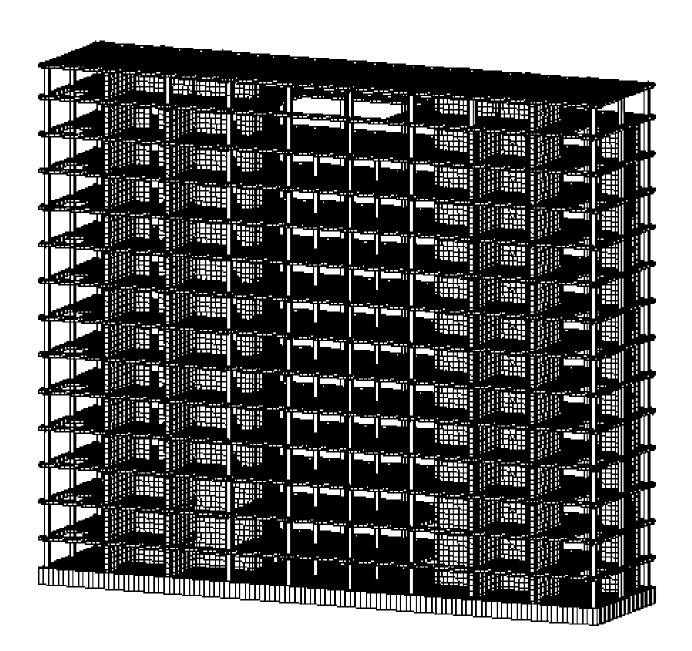


Рис. 5. Конечно-элементная модель (построена авторами)

Расчет осуществлен на следующие типы нагрузок, которые участвуют в формировании основных и особых сочетаний усилий:

– 1 загружение – собственный вес конструкций (постоянная нагрузка). В загружении автоматически учитывается собственный вес несущих конструкций на основании данных об удельном весе материалов;

– 2 загружение – полезные нагрузки (кратковременная нагрузка);

– 3 загружение – вес стен и полов (постоянная нагрузка);

– 4 загружение – снег (кратковременная нагрузка). Снеговая нагрузка принималась в виде распределенной по покрытию с учетом возможности возникновения снегового мешка, а также в виде линейной нагрузки на арки покрытия;

– 5, 6 загружение – статический ветер по *X* и по *Y*. Ветровые нагрузки приняты согласно сбору нагрузок и приложены поэтажно по внешнему контуру перекрытий и покрытия;

– 7, 8 загружение – динамический ветер по *X* и по *Y*. Пульсационная составляющая определялась средствами программного комплекса «ЛИРА-САПР» на основании статического расчета и расчета на собственные колебания;

– 9, 10 загружение – сейсмические воздействия прикладывались по направлениям: по *X* и по *Y*.

Модальный анализ предназначен для получения и анализа частот и форм свободных колебаний исследуемого объекта. Большое внимание уделяется значениями первых (низших) частот свободных колебаний, так как они определяют формы свободных колебаний объекта, то есть возможные способы деформации каркаса здания. На стадии проектирования рекомендуется провести модальный анализ с целью определения степени эффективности принятых конструктивных решений, оптимизации и рационализации таких решений.

Несущий остов здания также исследуется на возможность появления эффекта резонанса. В результате расчета получают главные формы и частоты собственных колебаний, перемещения в узлах.

При динамическом расчете каркаса здания учтены следующие нагрузки и воздействия: собственный вес несущих конструкций; постоянные нагрузки; вес временных перегородок; полезные нагрузки; снеговая нагрузка. Получены спектр частот и формы собственных колебаний (рис. 6) [1–2]. В результате анализа первых трех форм колебаний можно сделать вывод, что каркас здания имеет сложные конструктивные решения. Для обеспечения надежности конструктивных элементов необходимо разработать моделирование сейсмического воздействия с учетом крутильной компоненты загружения [3–5].

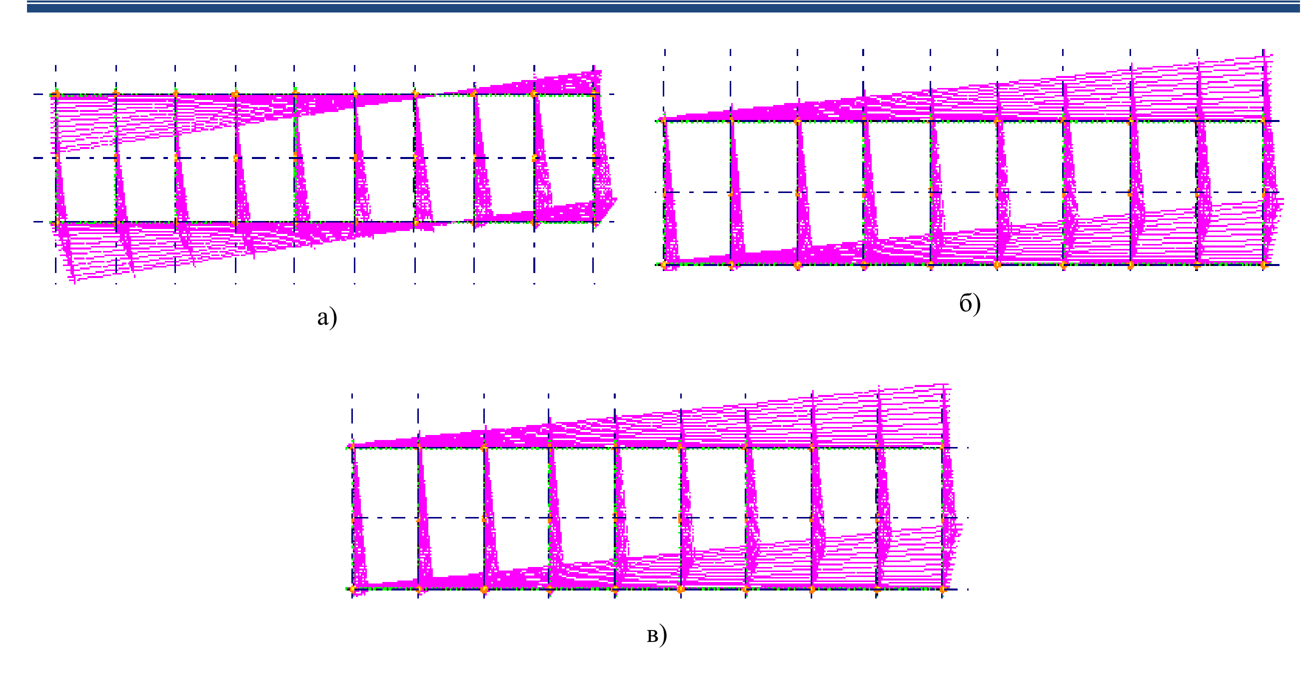


Рис. 6. Формы колебаний: а) 1-я форма; б) 2-я форма; в) 3-я форма (рисунок авторов)

Обсуждение и заключения. Динамические характеристики каркаса здания с учетом требований к зданиям сложной конструктивной системы получены при моделировании сейсмического воздействия, включающего крутильные компоненты колебаний [6–8]. По результатам общего статического расчета с учетом динамических воздействий горизонтальное перемещение каркаса здания высотой 37,8 м составляет 18,7 мм, что не превышает предельное значение 75,6 мм. Максимальная величина прогиба покрытия составляет 34,1 мм, что не превышает предельного значения.

Конечно-элементное моделирование объекта осуществлялось с применением специализированных инструментов. Числовое моделирование и динамические расчеты позволяют получить достоверные результаты, на основе которых выбираются оптимальные конструктивные решения. Это обеспечивает высокую рациональность конструкций, снижение стоимости и объема используемых материалов.

Анализ результатов обследования, численного эксперимента, динамического и общего статического расчета каркаса здания с учетом сейсмических моментов позволяет сделать вывод о том, что несущие конструкции здания находятся в работоспособном состоянии за исключением плиты покрытия. Серия численных экспериментов по моделированию работы плиты покрытия включает рациональные решения по ее реконструкции. Даны рекомендации по учету сейсмических воздействий на каркас здания [9–10].

Библиографический список

1. Panasyuk, L. Researching design solutions for frames of buildings in case of increased seismic intensity in specific zones / L. Panasyuk, G. Kravchenko, E. Trufanova // International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City". — 2017. — P. 02027.

2. Aksenov, V. N. Evaluation of reinforced concrete cylindrical reservoirs with single-layered walls / V. N. Aksenov, V. Le Quyen, E. V. Trufanova // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 150. — P. 1919–1925.

3. Mailyan, D. R. Planning of multilayer cylindrical wall reservoirs / D. R. Mailyan, E. V. Trufanova // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 150. — P. 1926–1935.

4. Kravchenko, G. Analysis of blast load on a reinforced concrete column in the time domain / G. Kravchenko, E. Trufanova, D. Kostenko, S. Tsurikov // International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City". — 2017. — P. 04019.

5. Кравченко, Г. М. Динамический расчет объекта «Спортивно-оздоровительный комплекс» Технопарка РГСУ / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, Е. О. Шутенко, К.Н. Хашхожев // Инженерный вестник Дона. — 2015. — № 4.

6. Кравченко, Г. М. Динамический расчет и анализ полусферической оболочки покрытия объекта «Зимний сад» Технопарка Ростовского Государственного Строительного Университета (РГСУ) / Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова, С. В. Борисов, С. С. Костенко // Инженерный вестник Дона. — 2016. — № 1.

7. Агаханов, Э. К. Регулирование параметров собственных колебаний пространственного каркаса здания / Э. К. Агаханов, Г. М. Кравченко, Е. В. Труфанова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки, — 2016. — № 3. — С. 8–15.

8. Айзенберг, Я. М. Шкала сейсмической интенсивности. Анализ и предложения по улучшению / Я. М. Айзенберг // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. — 2017. — № 5–6 (31). — С. 17–21.

9. Абакаров, А. Д. Вероятностные модели сейсмических воздействий / А. Д. Абакаров, Х. Р. Зайнулабидова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2009. — № 15. — С. 92–97.

10. Абдуразаков, Г. М. Построение расчетных моделей оценки живучести рамных систем при сейсмическом воздействии / Г. М. Абдуразаков, А. Д. Абакаров // Вопросы современных технических наук: Свежий взгляд и новые решения. Сборник научных трудов конференции. — 2015. — С. 58–61.

Поступила в редакцию 12.11.2022

Поступила после рецензирования 18.11.2022

Принята к публикации 20.11.2022

Об авторах:

Кравченко Галина Михайловна — доцент кафедры «Техническая механика» Донского государственного технического университета (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, galina.907@mail.ru

Труфанова Елена Васильевна — доцент кафедры «Техническая механика» Донского государственного технического университета (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, el.trufanova@mail.ru

Кадомцев Максим Игоревич — и. о. зав. каф. «Медиатехнологии» Донского государственного технического университета (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат физико-математических наук, ORCID, spu-49.2@donstu.ru

Заявленный вклад соавторов:

Г. М. Кравченко – научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования, корректировка выводов. Е. В. Труфанова – проведение расчетов, подготовка текста, формирование выводов. М.И. Кадомцев – анализ результатов исследований, доработка текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.